



PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DO GÁS NATURAL

Daniela de Oliveira Campos

Monografia em Engenharia Química

Orientadores:
Suzana Borschiver

Outubro de 2021

PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DO GÁS NATURAL

Daniela Campos

Monografia em Engenharia Química submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenharia Química.

Aprovado por:

Prof. Dra. Adriana dos Anjos Silva

Ma. Mariele Andrade Balbi

Orientado por:

Prof. Dra. Suzana Borschiver

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Ficha Catalográfica

Campos, Daniela de Oliveira.

Prospecção tecnológica do gás natural / Daniela de Oliveira Campos, Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2021.

xi, 83 p.; il.

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2021.

Orientadores: Suzana Borschiver.

1. Prospecção Tecnológica. 2. *Gás Natural*. 3. Novo mercado do gás natural.

4. Monografia (Engenharia Química – UFRJ/EQ. 5. Suzana Borschiver

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço ao meu Deus por ter me dado força e sabedoria para chegar até aqui. Ele é o responsável por todas as minhas conquistas e sem Ele nada seria possível. A Ele toda honra.

Depois, gostaria de agradecer aos meus pais: Nilda e Sebastião (em memória), os quais com muito esforço batalharam para que eu pudesse ter acesso aos estudos e conseguisse concluir essa etapa. Obrigada por todo amor incondicional e apoio, vocês são meus maiores exemplos e eu amo vocês. Não poderia deixar de agradecer também, aos meus queridos irmãos, Diego e Diogo, por todo carinho e incentivo de sempre. Estendo meus agradecimentos aos meus demais familiares: tias, tios, primas, primos, sobrinha, cunhadas, sogros e ao meu avô (em memória), vocês, sem dúvidas, fizeram parte dessa conquista.

Ao meu marido, Bernard, eu gostaria de agradecer por toda paciência e incentivo, obrigada por toda ajuda e carinho durante essa etapa. Você tornou a caminhada mais fácil e sou grata por dividir essa vida com você.

Meu muito obrigada também aos meus amigos de graduação: Milena, Sarah, Isabella, Vanici, Eduarda, Luís, Daniel e João. Vocês me apoiaram e ajudaram nos momentos de dificuldades durante a graduação, obrigada por tanto. Aos meus demais amigos, eu estendo os meus agradecimentos, obrigada pelo carinho e compreensão de sempre.

Por fim, meus sinceros agradecimentos e admiração à minha orientadora Prof. Suzana Borschiver, ao programa de Capacitação em Processos e Sistemas da Indústria de Petróleo e de Biocombustíveis PRH/ANP 3.1 e aos docentes e funcionários da Escola de Química da UFRJ.

Resumo da monografia apresentada à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenharia Química.

PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DO GÁS NATURAL

Daniela de Oliveira Campos

Outubro, 2021

Orientadores: Suzana Borschiver, *D. Sc.*

O gás natural é originado pela mistura de hidrocarbonetos leves, tendo em sua composição, majoritariamente, metano (CH_4). Dentre as suas inúmeras aplicações, pode-se destacar o seu uso na geração de energia, na indústria química e no setor automotivo. Se comparado aos demais combustíveis de origem fóssil, o gás natural se destaca, principalmente, devido a suas características mais limpa de combustão. O mercado atual de gás natural possui uma tendência de crescimento, esse fato se dá devido à eclosão da demanda energética global e a necessidade de uma energia mais sustentável. Somado a isso, no Brasil, as novas políticas públicas de dinamismo do segmento também promovem esse progresso do setor de gás natural. Dentro desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo identificar as tendências tecnológicas do gás natural através da elaboração de um estudo de prospecção tecnológica. Para isso, realizou-se uma busca de artigos científicos, patentes concedidas e patentes depositadas, utilizando as plataformas da SCOPUS, da Patent Inspiration e da USPTO, no intervalo de tempo de 10 anos, escolhendo para análise os 100 documentos mais recentes em ambos os casos. Com os resultados das buscas, foi realizada uma análise a fim de se obter um panorama do segmento para o momento atual, curto, médio e longo prazo, com as tendências tecnológicas desse mercado no mundo. Após o estudo, foi possível concluir que os avanços nas pesquisas que englobam soluções tecnológicas de gás natural possuem tendência de crescimento no Brasil e no mundo, sendo a China e Os Estados Unidos ainda dominantes do mercado. Além disso, foi possível identificar os principais *players* do setor, sendo eles: Air Liquide S.A, UOP LLC, SeaOne Holdings, dentre outros, e no Brasil, a Petrobrás. Por fim, um aumento expressivo na busca por diferentes

aplicações industriais pode ser detectado. Somados a isso, pode-se perceber também que o interesse por questões ambientais e processos de purificação estão ganhando mais importância, o que reforça as características mais limpas do gás natural em detrimento do uso de derivados de carvão e petróleo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Representação do reservatório de gás não associado e associado.....	15
Figura 2 - Maiores reservas provadas de petróleo e gás natural em 2018.....	17
Figura 3 - Evolução histórica do consumo final de gás natural (milhões de m ³ /dia) por setor. Adaptado de Empresa de pesquisa energética, 2013.....	19
Figura 4 - Oferta e Consumo do Gás Natural no Brasil (MMm ³ /dia). Adaptado de EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2019.	20
Figura 5 - Representação das etapas de upstream, midstream e downstream.....	25
Figura 6 - Oferta interna primária de energia por fonte no mundo e no Brasil, 2018.	26
Figura 7 - - Evolução da população brasileira.	27
Figura 8 - Logotipo da Air Liquide.....	28
Figura 9 - Logotipo da UOP LLC.....	28
Figura 10 - Logotipo da SeaOne Holdings	29
Figura 11 - Logotipo da ExxonMobil.....	29
Figura 12 - Logotipo da Saudi Arabian Oil Company	29
Figura 13 - Logotipo da TechnipFMC.....	30
Figura 14 - Logotipo da Halliburton	30
Figura 15 - Logotipo da Welker	30
Figura 16 - Logotipo da Sinopec.....	30
Figura 17 - Logotipo da Petrochina Company.....	31
Figura 18 - Logotipo da Petrobrás	31
Figura 19 - Logotipo da ENEVA.....	31
Figura 20 - Logotipo da Total E&P do Brasil.....	32
Figura 21 - Logotipo da Shell.	32
Figura 22 - Distribuição da produção de gás natural por operador. Adaptado de ANP 2020.....	33
Figura 23 - Metodologia escolhida de busca de artigos na base Scopus.	42
Figura 24 - Número de artigos por ano.....	44
Figura 25 - Os 10 países principais em publicações.	45
Figura 26 - Os 10 principais players em publicações.....	46
Figura 27 - Publicações por área do conhecimento	47
Figura 28 - Número de artigos por taxonomia Meso.	49
Figura 29 - Número de artigos por taxonomia Micro.	53
Figura 30 - Metodologia aplicada para a busca de patentes concedidas na base Patent Inspiration.	56
Figura 31 - Metodologia aplicada para a busca de patentes concedidas na base USPTO PatFT.....	57
Figura 32 - Número de patentes sobre gás natural concedidas por ano.	57
Figura 33 - Número de patentes concedidas por país (os 10 maiores).....	58
Figura 34 - Número de patentes concedidas por tipo de players para as 100 patentes selecionadas.	60
Figura 35 - Taxonomia Meso por número de patentes concedidas.....	61
Figura 36 - Taxonomia Micro por número de patentes concedidas.....	63
Figura 37 - Metodologia aplicada para a busca de patentes depositadas na base Patent Inspiration.	65

Figura 38 - Metodologia aplicada para a busca de patentes depositadas na base USPTO AppFT.....	66
Figura 39 -Número de patentes sobre gás natural concedidas por ano	67
Figura 40 - Número de patentes sobre gás natural solicitadas por país.....	68
Figura 41 - Número de patentes solicitadas por país de 2001 a 2020	69
Figura 42 - Número de patentes solicitadas por país de 2001 a 2010	69
Figura 43 - Número de patentes solicitadas por país de 2011 a 2020.....	70
Figura 44 - Número de patentes depositadas por tipo de players para as 100 patentes selecionadas.	71
Figura 45 - Taxonomias Meso por número de patentes solicitadas.	72
Figura 46 - Taxonomias Micro por número de patentes solicitadas.	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção de Gás Natural Associado e Não Associado (MMm3/dia)6	16
Tabela 2- Potencial de expansão da demanda anual por gás natural em Mtep.....	21
Tabela 3 - Comparação das emissões dos gases gerados pelo GN e demais combustíveis. Adaptado de Vieira et al. (2005).	22
Tabela 4 - Distribuição da produção de petróleo e gás natural por operador, considerando os 10 primeiros. Adaptado de ANP (2018).	34
Tabela 5 - Definição de cada taxonomia Meso.	48
Tabela 6 - Definição de cada taxonomia Micro.	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Considerações feitas no termo de compromisso de cessação e prática (TCC) ..	37
Quadro 2 - Escalas temporais	78

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Contextualização	12
1.2 Motivação	13
1.3 Objetivo	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 O gás natural	14
2.2 Aplicações e vantagens	17
2.3 O gás natural e a sustentabilidade	21
2.4 Cadeia produtiva.....	23
3. DEMANDA DO SETOR DE ENERGIA	26
4. MERCADO DE GÁS NATURAL	28
4.1 Principais <i>players</i> do mercado global.....	28
4.2 Principais <i>players</i> do mercado brasileiro	31
4.3 Petrobrás	32
5. O TERMO DE COMPROMISSO DE CESSAÇÃO DE PRÁTICA	35
5.1 Considerações do termo	36
5.2 Cláusulas do termo.....	37
6. PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA.....	40
6.1 Análise artigos	42
6.1.1 METODOLOGIA.....	42
6.1.2 ANÁLISE MACRO.....	43
6.1.3 ANÁLISE MESO.....	47
6.1.4 ANÁLISE MICRO	51
6.2 Análise patentes concedidas	55
6.2.1 METODOLOGIA.....	55
6.2.2 ANÁLISE MACRO.....	57
6.2.3 ANÁLISE MESO.....	60
6.2.4 ANÁLISE MICRO	63
6.3 Análise patentes depositadas.....	64
6.3.1 METODOLOGIA.....	64
6.3.2 ANÁLISE MACRO.....	66
6.3.3 ANÁLISE MESO.....	71
6.3.4 ANÁLISE MICRO	73

7. CONCLUSÕES.....	75
8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	78
9. REFERÊNCIAS	79

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

O gás natural (GN) é composto por uma mistura de hidrocarbonetos leves de origem fóssil, em sua maioria metano (CH_4). Ele se classifica como uma substância que permanece em estado gasoso nas condições atmosféricas normais de temperatura e pressão, podendo ser dividido em duas grandes categorias: gás natural associado e gás natural não associado (ANP, 2020), podendo estar livre ou em solução nos dois casos acima citados (AGUIAR, 2020).

Concernente às aplicações do Gás Natural, destacam-se o seu uso para a geração de energia termelétrica, nos segmentos industriais e como combustível veicular. Após a sua produção, o Gás Natural pode ser destinado a diversos setores como matéria-prima, como por exemplo, o setor petroquímico, onde é utilizado para produção de plásticos, tintas, fibras sintéticas e borracha (ANP, 2020).

Já no viés sustentável, o gás natural se destaca em detrimento dos demais combustíveis oriundos de origem fóssil. Essa diferença se dá, principalmente, devido as menores emissões de gases de efeito estufa, ocasionado pela sua combustão mais completa (DUTRA, 2020). Devido a essas características, a demanda por gás natural tem aumentado em todos os segmentos, assim como, suas aplicações têm expandido e novas tecnologias têm surgido (PLANO NACIONAL DE ENERGIA 2050).

Em relação ao mercado brasileiro de gás natural, é importante salientar que a Petrobrás monopoliza o segmento. No decorrer das últimas décadas, a empresa se consolidou e se tornou a imagem do refino no Brasil, sendo referência tanto na produção de gás natural quanto petróleo. Segundo dados da ANP (2018), a empresa possui aproximadamente 77% das refinarias do parque nacional. E controla cerca de 95,7% da distribuição da produção de gás natural.

Portanto, é de se esperar que qualquer variação na sua estrutura e plano de negócios afetará o setor, de maneira significativa. Dessa forma, a assinatura do Termo de Cessação de Conduta (TCC), em 2019, pelo Conselho Administrativo de Defesa Econômica (CADE) e a PETROBRAS, o qual tem como objetivo central reduzir, de forma significativa, a participação da Petrobrás no mercado de gás natural, será um grande divisor no setor de gás Natural no Brasil. Com essa redução, espera-se o aumento da competitividade e dinamismo no setor (PETROBRAS, 2020). Logo, os

desdobramentos dessa assinatura é um ponto importante a ser analisado, possibilitando assim entender as perspectivas do setor.

Por fim, é sabido que o crescimento do mercado de gás natural é resultado direto da competitividade econômica do setor, das políticas econômicas, das suas características mais limpas, do aumento pela demanda de energia no Brasil e no mundo e, principalmente, dos avanços tecnológicos. Dessa forma, faz-se necessário entender o dinamismo do setor, assim como suas perspectivas futuras de crescimento tecnológico. Com base nisto, o presente trabalho tem como objetivo central realizar uma prospecção tecnológica do gás natural, de forma a examinar o seu movimento tecnológico a curto, médio e longo prazo, de modo a orientar o planejamento estratégico dos *players* do setor.

1.2 Motivação

A crescente demanda por energia no Brasil e no mundo, a necessidade de um mundo mais sustentável, a versatilidade do gás natural, juntamente com as novas políticas econômicas do gás natural no Brasil, isto é, assinatura do termo de concessão, serviram como incentivador para a elaboração do presente trabalho, o qual tem como título: ***Prospecção Tecnológica do Gás Natural***.

1.3 Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo principal realizar uma prospecção tecnológica do gás natural. A análise tecnológica contou com uma análise Macro, Meso e Micro de artigos, de patentes concedidas e de patentes depositadas, possibilitando assim uma maior compreensão sobre o cenário tecnológico do gás natural a curto, médio e longo prazo.

Vale ressaltar que a análise Macro consiste nas informações imediatas do documento, isto é, ano de publicação, instituição e país de origem dos autores, dentre outras coisas. Já a análise Meso, contempla as informações principais do documento, exigindo assim uma leitura diagonal do mesmo, de forma a extrair e definir o assunto central e criar as taxionomias. Por fim, a análise Micro é a etapa onde se extrai as

informações mais detalhadas, isto é, dentro de cada taxonomia pode ser criada subcategorias, de maneira a obter uma compreensão ainda mais detalhada daquele *driver* (Borschiver, 2017).

Anteriormente a etapa de prospecção, foi-se realizado uma etapa pré-prospectiva, que contou com uma revisão teórica, aprofundada, sobre o tema em questão. Essa etapa foi desenvolvida, abordando aspectos como, origem e características, aplicações e vantagens, sustentabilidade e cadeia produtiva.

Importante destacar que, para proporcionar uma análise tecnológica mais completa, uma breve análise mercadológica também foi desenvolvida, juntamente com levantamento do panorama sobre demanda de energia global e local. Essa análise mercadológica expôs as grandes empresas do setor de gás natural no Brasil e no mundo, assim como, analisou o monopólio de gás natural brasileiro. Alguns dos desdobramentos do setor de gás natural após a assinatura do Termo de Cessação de Conduta pelo CADE e pela Petrobrás também foram estudados nessa etapa.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O gás natural

O gás natural é um composto de origem fóssil, que pode ser formado por três maneiras distintas: a degradação da matéria orgânica pela ação de bactérias anaeróbias; a degradação da matéria orgânica e do carvão por temperatura e pressão elevada e a alteração térmica dos hidrocarbonetos líquidos. A matéria orgânica presente na formação do GN oriunda de vegetais (querogênio seco), algas ou de animais marinhos (querogênio gorduroso) (Vieira et al, 2005).

Em sua composição, o gás natural é formado por uma mistura de hidrocarbonetos leves, em sua maioria, Metano ($\text{CH}_4 = \text{C1}$), Etano ($\text{C}_2\text{H}_6 = \text{C2}$), Propano ($\text{C}_3\text{H}_8 = \text{C3}$) e, em menor proporção, por outros hidrocarbonetos. Quando ele apresenta quantidade apreciável de hidrocarbonetos condensáveis ($\text{CH}_4 > 85\%$), pode-se considerá-lo como seco, caso isso não aconteça ele é designado como úmido.

Além disso, se classifica como uma substância que permanece em estado gasoso nas condições atmosféricas normais de temperatura e pressão. O gás natural se caracteriza por conter baixos teores de impurezas, tais como, inertes (Nitrogênio e

Dióxido de Carbono), água, compostos de enxofre e traços (pequenas quantidades) de outros constituintes (ANP, 2020).

O gás natural pode ser dividido em duas grandes categorias: gás natural associado ao petróleo e gás natural não associado ao petróleo. O gás natural associado se encontra dissolvido no petróleo ou sob forma de uma “capa” de gás, nos reservatórios geológicos, em acumulações de rochas porosas no subsolo, terrestre ou marinho. Já o gás natural não associado é aquele que se encontra dissociado do petróleo e da água, nos reservatórios, sendo assim mais fácil o seu uso. Nesse caso a concentração de gás está prevalente nas camadas rochosas (ANP, 2020).

A figura 1 retrata as formas de se encontrar o gás natural na natureza: associado e não associado, e as peculiaridades de cada situação, como a concentração de hidrocarbonetos e impurezas presentes em cada forma, e as etapas distintas necessárias em cada cenário.

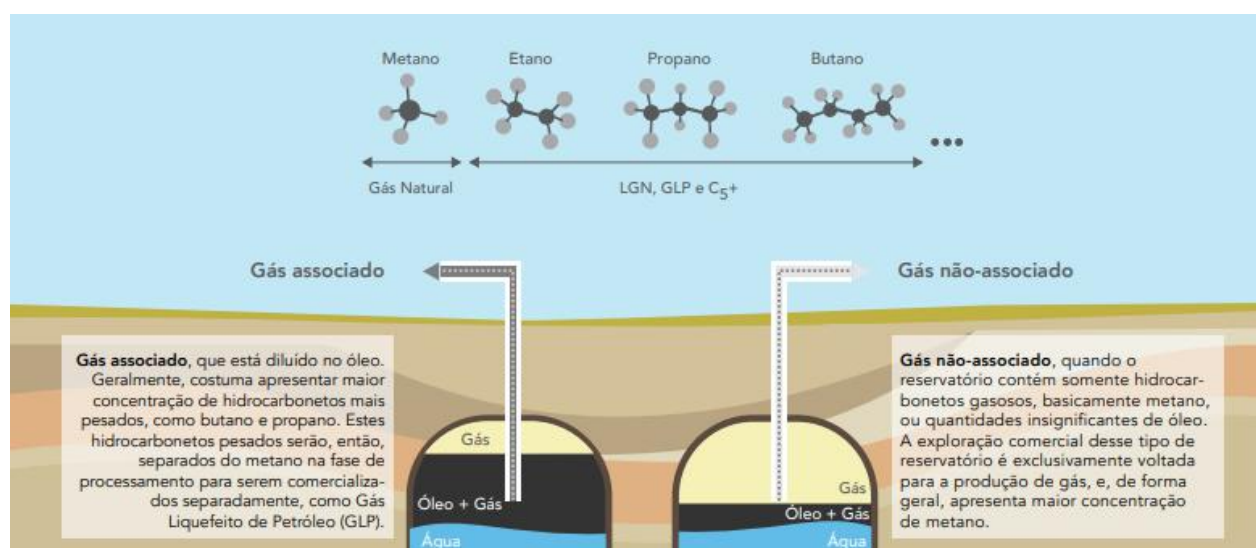


Figura 1- Representação do reservatório de gás não associado e associado.

Adaptado de (FGV ENERGIAS – GN, 2014).

No Brasil, a utilização do gás associado é predominante devido aos reservatórios locais. Em 2013, segundo Boletim Mensal de Acompanhamento da Indústria de Gás Natural, 63% da produção de GN teve origem do gás associado e veio, principalmente, de campos localizados no mar (FGV ENERGIAS – GN, 2014). Já estudos mais recentes, mostram que atualmente, mais de 80% da produção de gás

natural brasileira é associada ao petróleo (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2020).

A tabela 1 evidencia as fontes de suprimento de gás natural no Brasil e no Rio de Janeiro, dos anos de 2015 a 2019, mostrando a predominância do gás natural associado no mercado brasileiro. Interessante ressaltar, o crescimento na produção diária de gás natural associado ao petróleo em detrimento do gás não associado, com o passar dos anos.

	2015	2016	2017	2018	2019	2019 (%)
Associado	70,2	78,2	84,8	88,7	100,0	82%
Não Associado	26,0	25,6	25,1	23,2	22,5	18%
Total	96,2	103,8	109,9	111,9	122,5	100%
Associado RJ	36,6	43,1	49,8	54,5	67,2	98%
Não Associado RJ	1,9	2,4	1,2	0,9	1,2	2%

Tabela 1 - Produção de Gás Natural Associado e Não Associado (MMm3/dia)⁶

Adaptado de (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIAS, 2020).

No que diz respeito as reservas de gás natural e petróleo no mundo, o Brasil ocupa a 23^o posição, com cerca de 16 bilhões de barris equivalentes de petróleo em 2018 (figura 2). No entanto, analisando apenas os reservatórios de gás natural o Brasil ocupa, atualmente, a 37^o posição. Ainda analisando os dados da figura 2, percebe-se que a primeira posição geral é do Irã, mas no que diz respeito apenas ao gás natural, a Rússia se destaca com cerca de 25% do total da reserva mundial (IBP, 2019) (EXAME, 2016).

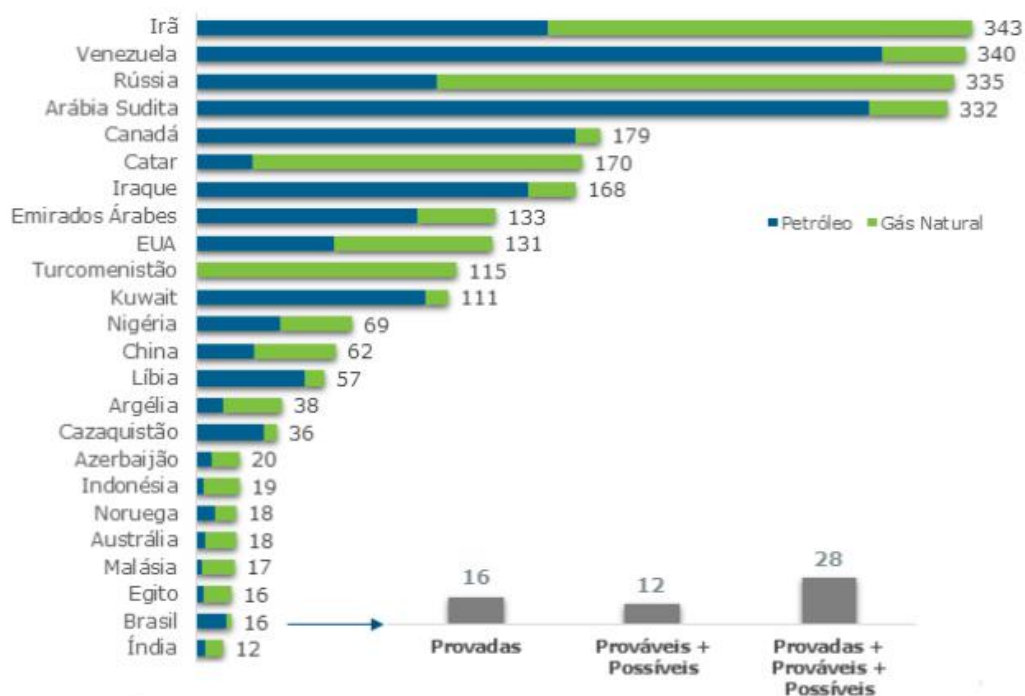


Figura 2 - Maiores reservas provadas de petróleo e gás natural em 2018.

Adaptado de Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás.

Por fim, vale mencionar que, a descoberta do GN se deu concomitantemente ao petróleo, no entanto, a sua popularidade e valorização não ocorreu de forma imediata. Principalmente devido ao seu estado físico gasoso, em condições normais de temperatura e pressão, gerando assim uma dificuldade no armazenamento e transporte (DUTRA, 2020). Apesar disso, atualmente, os avanços tecnológicos estão modificando a estrutura dessa indústria, favorecendo assim seu protagonismo na matriz energética e nas demais aplicações.

2.2 Aplicações e vantagens

A versatilidade é umas das características do gás natural. O seu uso vai desde a geração de energia termelétrica até os segmentos industriais.

No setor industrial: o GN é utilizado como gás combustível proporcionando uma combustão limpa e eficiente, ideal para processos que são conduzidos em contato direto com o produto final como, por exemplo, vidro e cerâmica. Ainda nesse segmento industrial, o GN é utilizado na petroquímica, como matéria prima para síntese de metanol, amônia e ureia, e, além disso, vale mencionar o seu uso na reinjeção em reservatórios com objetivo de recuperar resíduos de petróleo (TEIXEIRA, 2015).

No setor automotivo: o seu uso se dá como combustível veicular. O mesmo é usado como substituto do etanol, gasolina e diesel e recebe o nome de “gás natural veicular – GNV”. Nesse setor o GN se destaca pela competitividade econômica e eficácia energética, além das características sustentáveis, uma vez que o GN emite menos poluente se comparado aos demais combustíveis (TEIXEIRA, 2015).

No segmento comercial e residencial: o GN é usado em chuveiros, fogões, saunas, aquecedores de piscinas, climatizadores de ambiente dentre outros. O gás natural se estabeleceu com força nesse bloco, deslocando combustíveis tradicionais, como a lenha e o diesel (TEIXEIRA, 2015).

A demanda por gás natural teve um aumento, em todos os segmentos, durante o período de 1990 a 2012. Isso ocorreu, principalmente, pela competitividade econômica do GN, pela característica mais limpa do combustível e pelos avanços tecnológicos (figura 3) (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2013).

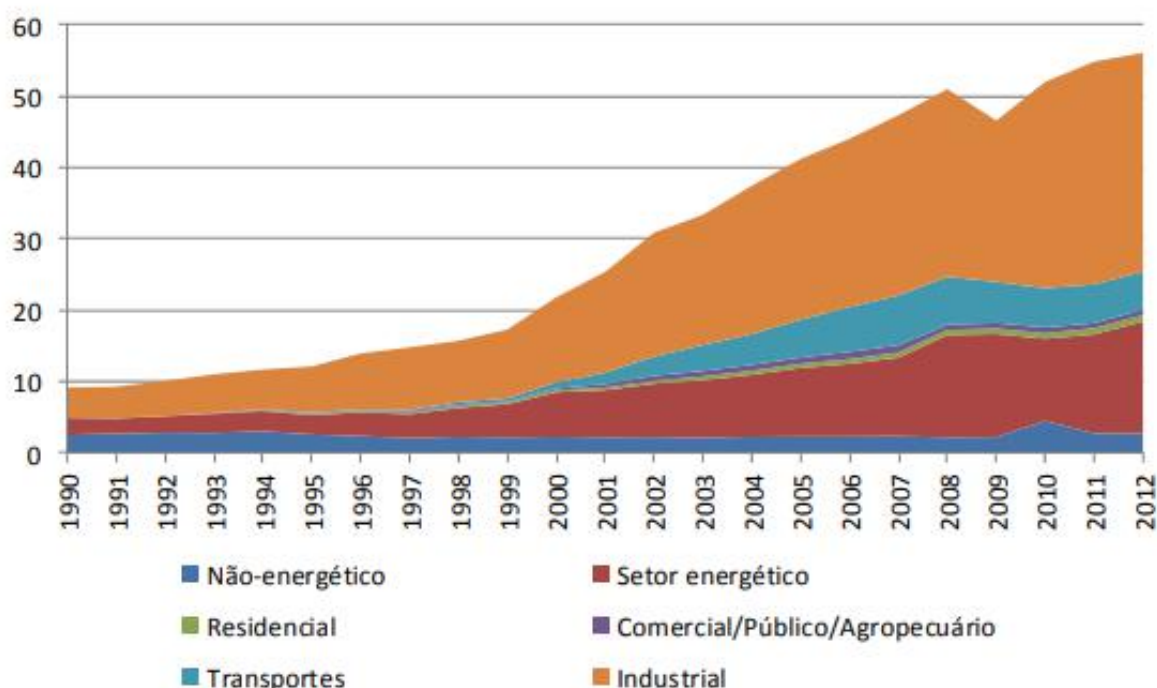


Figura 3 - Evolução histórica do consumo final de gás natural (milhões de m³/dia) por setor.

Adaptado de Empresa de pesquisa energética, 2013.

De acordo com a figura 3, a partir de 1999 é possível observar uma taxa de crescimento expressiva, que ocorreu, principalmente, devido a implementação do gasoduto Bolívia-Brasil (GASBOL), somados a descoberta da bacia de Campos. Ainda ao analisar a figura é possível perceber, que no final da década de 2000 houve uma pequena queda na taxa de crescimento, o que pode ser explicado pela crise econômica internacional (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2013). Apesar disso, é inegável a tendência de crescimento do uso do gás natural em diversas aplicações durante esse período, o que testifica a sua versatilidade e vantagens.

Todavia, ao analisar dados mais recentes, na figura 4, pode-se perceber que, de forma geral, o consumo do gás natural a partir de 2012 não cresceu simultaneamente a produção, tendo o mesmo uma queda. Esse fato refletiu na rejeição, de 1/3 do gás associado produzido no Pré-Sal, nos poços. A justificativa para tal acontecimento se dá devido a desaceleração econômica do país, somado, a normalização da geração hídrica de energia, a qual enfrentou dificuldades nos anos

anteriores e impulsionou assim o uso da a geração termelétrica (BARROSO et al, 2020).

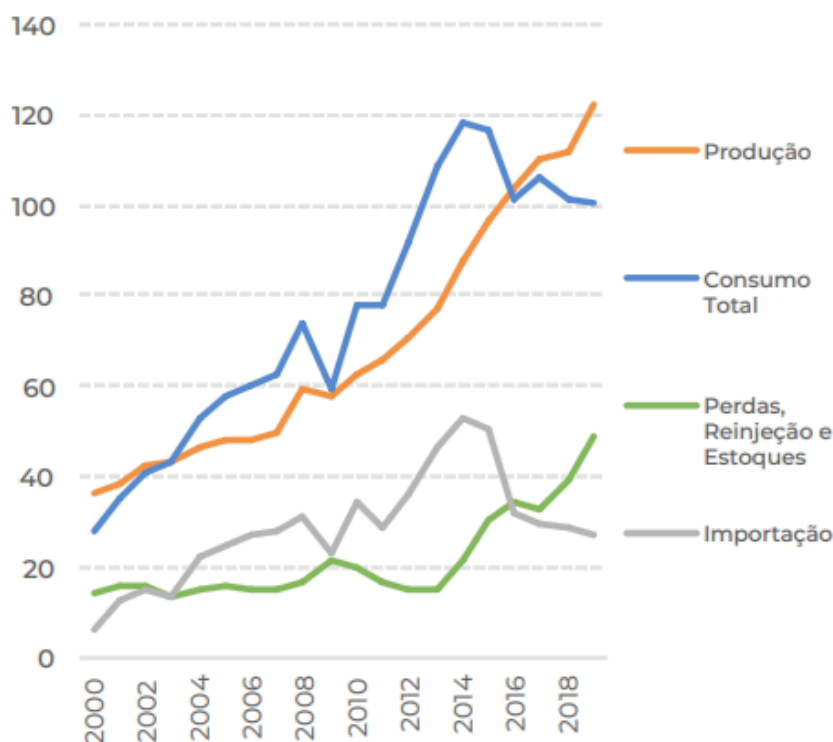


Figura 4 - Oferta e Consumo do Gás Natural no Brasil (MMm³/dia).

Adaptado de EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2019.

Entretanto, apesar da queda no consumo de gás natural, é importante mencionar, que o seu consumo ainda é alto, cerca de 100 MMm³/dia (2018), confirmando assim a importância desse combustível na matriz energética e nas demais aplicações no país.

Além disso, o gás natural possui tendência de expansão nos próximos 10-20 anos, conforme evidencia a tabela 2. O aumento do seu consumo se dará, principalmente, no setor automotivo, siderúrgico e na geração de energia elétrica. Esse aumento é originado pelas políticas econômicas do país, desafios ambientais (economia de baixo carbono) e avanços tecnológicos. Acredita-se que, esse acréscimo no consumo total de gás natural pode ser alcançado com eficiência ambiental, econômica e social (BARROSO et al, 2020).

	Potencial do GN (Mtep/ano)	Descrição
Cimento	3,00	Completa substituição do coque de petróleo pelo gás natural e crescimento de 30-40% da produção de cimento
Cerâmica	2,00	Crescimento em 2x da cerâmica branca e de revestimento, e deslocamento de 30% do consumo de lenha pelo GN
Siderúrgica	9,00	Completa substituição de coque de carvão mineral por GN
Indústria Química	5,20	Novas plantas de fertilizantes e metanol
Transporte Rodoviário	9,00	Substituição de 25% do diesel utilizado em caminhões semi-pesados e pesados
Eletricidade	14,00	Expansão de geração termoeletrica com o gás do Pré-sal e o GNL importado
Oferta Interna Bruta	42,20	-

Mtep: Milhões de toneladas equivalente de petróleo.

Tabela 2- Potencial de expansão da demanda anual por gás natural em Mtep.

Adaptado de (BARROSO et al, 2020).

2.3 O gás natural e a sustentabilidade

É crescente o interesse por sustentabilidade. A necessidade do desenvolvimento sustentável tem promovido esforços com objetivo de encontrar maneiras de conseguir sociedades ambientalmente corretas (SALAS-ZAPATA et al., 2011). Esse despertar reflete diretamente na procura por combustíveis mais limpos e menos agressivos ao meio ambiente.

Nesse viés, o gás natural se destaca em comparação aos outros combustíveis oriundos de fonte fóssil. Essa diferença se deve, principalmente, nas menores emissões de gases de efeito estufa, devido a sua combustão mais completa se comparada aos demais combustíveis, e a menor liberação de particulados, como fuligens. Além disso, o gás natural possui outras vantagens ambientais, como dissipar-se rapidamente para atmosfera (por ser um gás em condições normais de temperatura e pressão) sem gerar assim danos aos organismos vivos. Em caso de acidente veicular, por exemplo, terá uma menor contaminação do solo e rios, se comparado aos demais combustíveis. (TEIXEIRA, 2015).

A tabela 3 apresenta os valores de emissões de gases do efeito estufa gerados pelo gás natural e pelos demais combustíveis, em toneladas, no período de 1997 a 2003.

Emissões	SO₂ (TONELADAS)	NO_x (TONELADAS)	Particulados (TONELADAS)	CO₂ (TONELADAS)
Outros combustíveis de origem fóssil	89.532	47.965	18.999	19.695.164
Gás Natural	932	29.294	533	13.570.455
Diferença	88.600	18.671	18.466	6.124.709

Tabela 3 - Comparação das emissões dos gases gerados pelo GN e demais combustíveis.

Adaptado de Vieira et al. (2005).

Como pode-se observar, o gás natural possui uma grande discrepância se comparado aos outros combustíveis de origem fóssil. O mesmo emite, aproximadamente, 10 vezes menos SO₂, 35 vezes menos particulados, e um pouco mais da metade de CO₂ e NO_x. Sendo assim, é indiscutível que o gás natural é um combustível mais limpo e sustentável nessa categoria.

Importante mencionar que, apesar do gás natural possuir um caráter mais limpo se comparado aos combustíveis fósseis, ele ainda possui inúmeras desvantagens ambientais se equiparado aos combustíveis de fonte renovável como: biomassa, hidrogênio, solar, hídrica, dentre outras. (GRAVINA, 2008).

Em contrapartida, é necessário destacar que a energia proveniente de fontes fósseis ainda é mais eficaz em termos de custo que as energias renováveis, e isto é um fator limitante para a transição energética, principalmente em países com menos recursos tecnológicos. Dessa forma, com a lentidão da transição energética, o gás natural adquire maior relevância, por ser considerado um combustível menos nocivo ao meio ambiente e poder usufruir da infraestrutura e da tecnologia já existentes (BARROSO et al, 2020).

2.4 Cadeia produtiva

A cadeia de produção do gás natural consiste em três grandes blocos: *upstream*, *midstream* e *downstream*. O primeiro, compreende as etapas de exploração, produção e processamento. O segundo bloco, por sua vez, corresponde ao transporte e à estocagem e, por fim, o terceiro consiste na etapa de distribuição ao consumidor final (FGV ENERGIAS – GN, 2014). Essas etapas estão detalhadas na tabela 4.

UPSTREAM	Exploração	<p>Consiste no processo de pesquisa e mapeamento de acumulação de hidrocarbonetos, seja ele em bacias terrestres ou em bacias marítimas. Após o estudo, ocorre a perfuração de alguns poços exploratórios para comprovar a existência do material, além da análise de viabilidade comercial de exploração do campo em questão (GRAVINA, 2008).</p> <p>Vale ressaltar, que essa fase é caracterizada pelo seu alto grau de risco e elevados investimentos (FGV ENERGIAS – GN, 2014).</p>
	Produção	<p>“A produção consiste em um conjunto de operações coordenadas de extração do Gás natural de uma jazida e de preparo para sua movimentação” (FGV ENERGIAS – GN, 2014).</p> <p>A maneira como esses procedimentos de fato ocorrerá depende da natureza do gás natural (associado ou não associado), como mostra a figura 1 (GRAVINA, 2008).</p> <p>No caso do gás associado, é necessário, primeiramente, um processo de separação do gás e do petróleo. Já no caso do não associado, essa etapa é dispensável.</p>

CONTINUA.

	Processamento	Nessa fase o gás natural é destinado, por meio de gasodutos, até a Unidade de Processamento de Gás Natural, com objetivo de ser tratado (SILVESTRE, 2012). Na unidade, as impurezas são retiradas e o gás tem sua composição dividida em frações: gás natural seco, gás natural liquefeito e gasolina natural (GRAVINA, 2008).
MIDSTREAM	Transporte	O gás natural é encaminhado até as distribuidoras finais, através de gasodutos em alta pressão e de cilindros de alta pressão. Ele também pode ser conduzido, por meio de navios ou caminhões, quando se encontra no seu estado liquefeito, nesse caso, após será necessário a regaseificação (GRAVINA, 2008). Essa etapa é custosa, e corresponde 2/3 do custo final da cadeia de produção. A implementação de um gasoduto, por exemplo, exige um grande investimento de capital inicial (SILVESTRE, 2012).
	Estocagem	O Brasil não possui a tradição de estocar o gás natural. O costume do armazenamento é comum em países frios e é realizado em cavernas durante o inverno (GRAVINA, 2008).
DOWNSTREAM	Distribuição	Após atender todas as etapas anteriores, o gás natural se encontra livre de impurezas e pronto para uso, atendendo todos os padrões técnicos necessários. E assim, ocorre a distribuição, nesse momento as redes de distribuição se encarregam de destinar o gás natural as indústrias e polos urbanos e, por consequência, ao consumidor final (SILVESTRE, 2012).

Tabela 4 - Descrição das etapas de upstream, midstream e downstream.
Adaptado de ((SILVESTRE, 2012), (GRAVINA, 2008) e (FGV ENERGIAS – GN, 2014)).

As etapas detalhadas na tabela 4, isto é, os três grandes grupos (*upstream*, *midstream* e *downstream*) e cada fase do processo até o consumidor final pode ser observada também na figura 5.

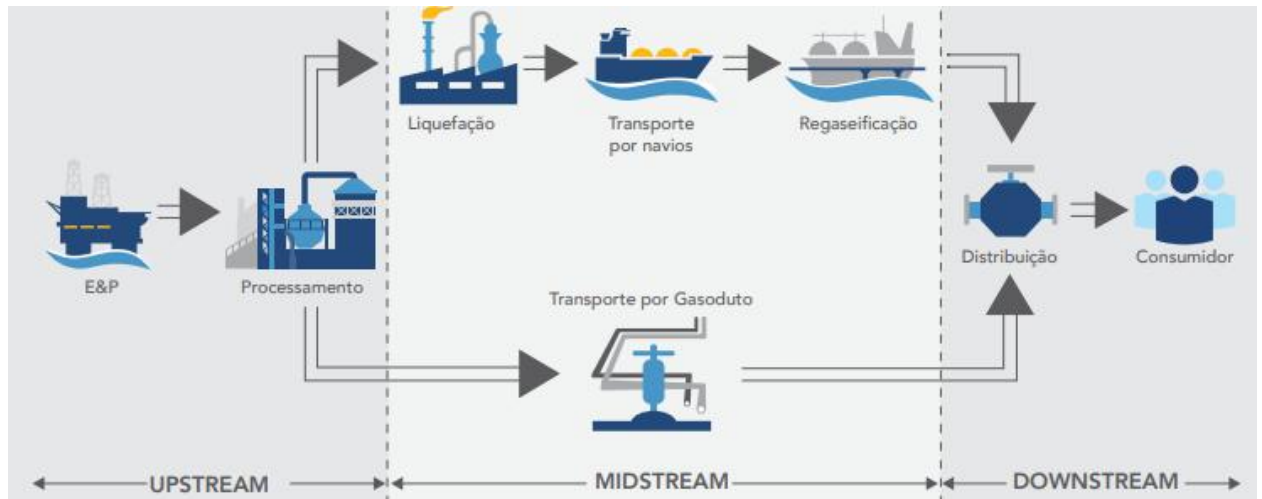


Figura 5 - Representação das etapas de upstream, midstream e downstream

Adaptado de (FGV ENERGIAS – GN, 2014).

Importante ressaltar que a etapa de regaseificação só se faz necessária quando o gás natural se encontra no estado líquido. Normalmente ele é liquefeito, devido ao meio de transporte a ser utilizado. Vale mencionar também que a etapa E&P, ilustrada na figura 5, é a representação das fases de exploração e produção.

Historicamente, a cadeia de produção do gás natural possui limitações, principalmente na etapa de transporte do gás. Isto é, movimentá-lo e estocá-lo é custoso, e além disso, a cadeia produtiva demanda tecnologia dedicada em diversas etapas do processo, como por exemplo, estocagem e transporte. (FGV ENERGIAS – GN, 2014).

No entanto, o uso do gás natural tem ganhado cada vez mais força nos últimos anos. As características sustentáveis e a versatilidade em aplicações, atreladas aos avanços tecnológicos do setor e o crescimento pela demanda de energia, têm contribuído para sua notoriedade e crescimento no mercado global (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2013).

3. DEMANDA DO SETOR DE ENERGIA

Para analisar o mercado de gás natural, faz-se necessário evidenciar algumas demandas do setor de energia, que é responsável pelo maior consumo de gás natural, no Brasil e no mundo, assim como avaliar o crescimento do segmento e perspectivas futuras.

No Brasil, o uso do gás natural se consolidou por volta de 1999, com o início da operação do gasoduto Bolívia Brasil (Gasbol) (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2013). Atualmente, o GN representa cerca de 13% da matriz energética brasileira. Já no cenário global, a sua popularização deve ao crescimento acelerado, principalmente nos últimos 30 anos, sendo em 2018 responsável por 24% da matriz energética global (BARROSO et al, 2020).

A figura 6 ilustra os dados apresentados anteriormente, evidenciando a menor disseminação de gás natural no Brasil se comparado ao cenário global, mas destacando um espaço para o crescimento no país. (BARROSO et al, 2020).

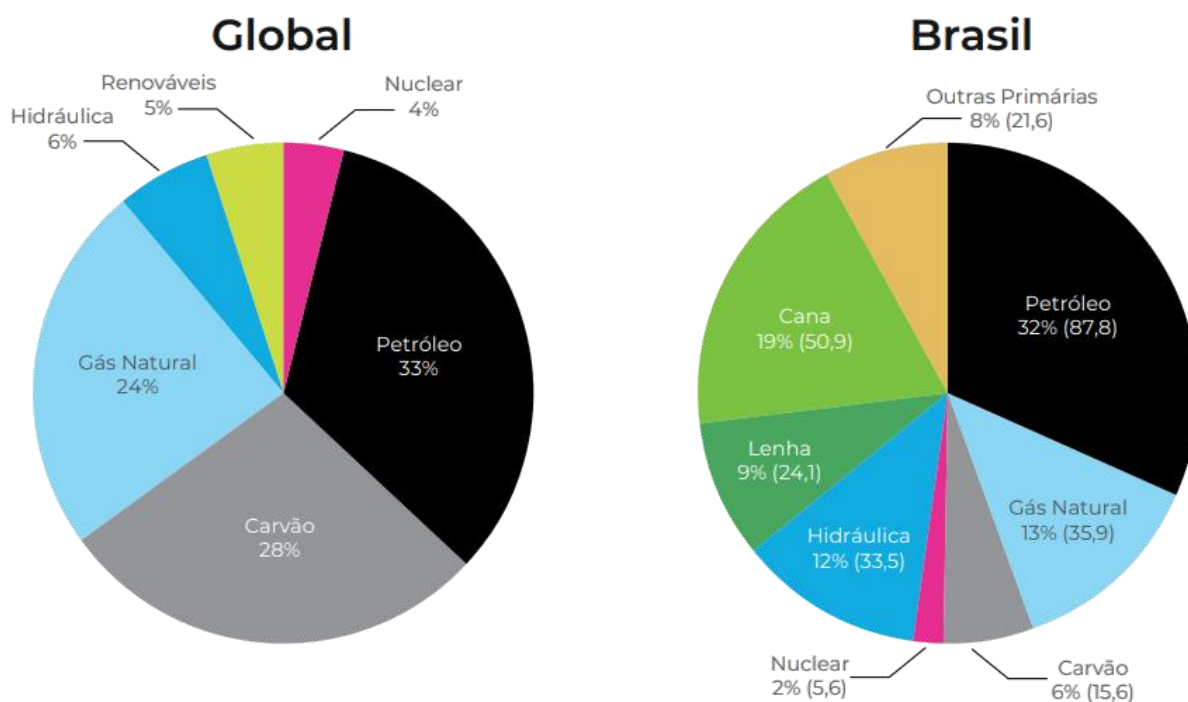


Figura 6 - Oferta interna primária de energia por fonte no mundo e no Brasil, 2018.

Adaptado de panorama e perspectiva gás natural brasil (BARROSO et al, 2020).

Segundo ESTUDOS DA DEMANDA DE ENERGIA - NOTA TÉCNICA DEA 13/15, a necessidade por energia continuará a crescer nos próximos anos, sendo previsto um aumento na faixa de 20-40% até 2040. Esse crescimento se dá, principalmente, devido ao aumento populacional, que tem perspectiva de aumento até 2040 (figura 7). Alinhado a esse crescimento, surge alguns desafios, como por exemplo, a procura por melhorias ambientais (PLANO NACIONAL DE ENERGIA 2050).

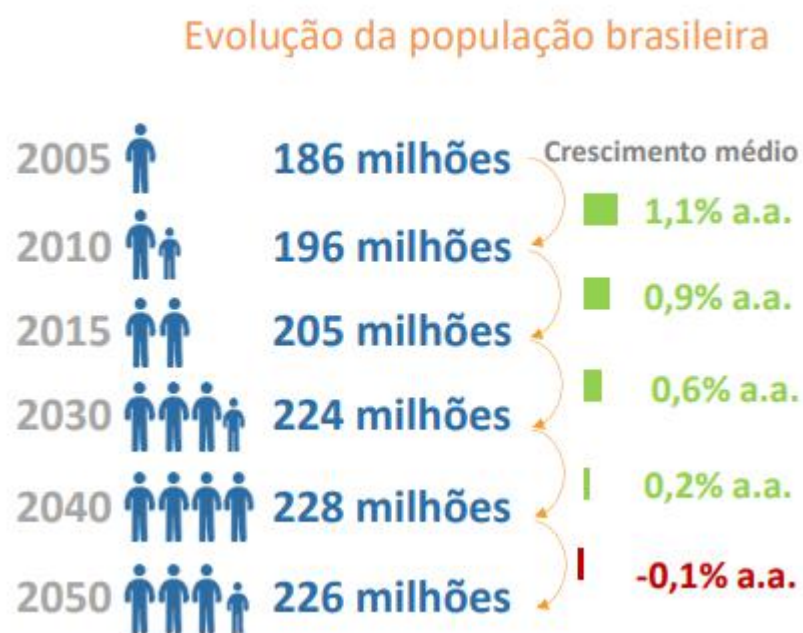


Figura 7 - - Evolução da população brasileira.

Adaptado de Plano Nacional de Energia 2050.

Portanto, para esse cenário, onde se tem um aumento da demanda energética e a busca por uma fonte de energia de baixo carbono, o gás natural representa uma fonte promissora de combustível com projeções que evidenciam que até 2030 passará a representar 15% da matriz energética brasileira (PLANO NACIONAL DE ENERGIA 2050).

4. MERCADO DE GÁS NATURAL

Esse capítulo tem como objetivo discorrer sobre o atual cenário do mercado global e nacional de Gás Natural, assim como, seus principais *players* e as projeções para esse setor.

4.1 Principais *players* do mercado global

Visando construir uma base de conhecimento aprofundada sobre mercado global do gás natural, faz-se necessário conhecer os principais *players* do setor. Após a etapa de análise pré-prospectiva baseada em dados da literatura foi possível destacar algumas das grandes empresas do setor, sendo elas:

Air Liquide S.A: Empresa francesa que atua no setor de gases industriais. Seu mercado de gás natural está associado principalmente à comercialização de gás natural liquefeito.



Figura 8 - Logotipo da Air Liquide

UOP LLC: Empresa multinacional que opera desenvolvendo e fornecendo soluções tecnológicas para refino de petróleo e processamento de gás natural.



Figura 9 - Logotipo da UOP LLC

SeaOne Holdings: Companhia americana de logística que desenvolve sistemas para transporte e distribuição de gás natural e gás natural liquefeito.



Figura 10 - Logotipo da SeaOne Holdings

ExxonMobil: Empresa multinacional do ramo de petróleo e gás formada em 1999 pela fusão entre as empresas Exxon e Mobil. Seu mercado de gás natural está associado à exploração, distribuição e processamento.



Figura 11 - Logotipo da ExxonMobil

Saudi Arabian Oil Company: Companhia petrolífera estatal da Arábia Saudita considerada a maior do mundo em termos de óleo cru e produção.



Figura 12 - Logotipo da Saudi Arabian Oil Company

TechnipFMC: Empresa global franco-americana do setor de energia que atua na integração de exploração e distribuição de petróleo e gás em conjunto com tecnologias submarinas.



Figura 13 - Logotipo da TechnipFMC

Halliburton: Empresa multinacional que presta serviços relacionados à exploração de petróleo e em projetos integrados para gás natural liquefeito.



Figura 14 - Logotipo da Halliburton

Welker: Empresa americana que fornece soluções diversas para a indústria de óleo e gás.



Figura 15 - Logotipo da Welker

Sinopec: Empresa chinesa que atua na exploração, distribuição, transporte e comercialização de petroquímicos e gás natural. É considerada uma das maiores empresas do mundo.



Figura 16 - Logotipo da Sinopec

Petrochina Company: Maior empresa petrolífera de China e considerada uma das maiores em valor de mercado no mundo



Figura 17 - Logotipo da Petrochina Company.

4.2 Principais *players* do mercado brasileiro

Com objetivo de entender melhor também o mercado brasileiro, um levantamento sobre os principais *players* locais foi realizado. De acordo com a literatura e baseado em documentos da agência nacional de petróleo (ANP, 2020), tem-se que no Brasil se destacam, principalmente, as seguintes empresas:

Petrobrás: Responsável por toda a cadeia produtiva do petróleo e derivados e gás natural; fabricação e comercialização de lubrificantes; indústria petroquímica; geração de energia.



Figura 18 - Logotipo da Petrobrás

ENEVA: A maior operadora privada de gás natural do país, ativos na E&P.



Figura 19 - Logotipo da ENEVA.

Total E&P do Brasil: Petroleira atua no setor de Exploração e Produção (E&P) de óleo e gás no Brasil.



Figura 20 - Logotipo da Total E&P do Brasil.

Shell do Brasil: E&P e distribuição de petróleo e gás natural; fabricação e distribuição de lubrificantes; geração de energia elétrica; estudos de fontes renováveis; indústria química



Figura 21 - Logotipo da Shell.

Em relação aos *players* apresentados, no setor brasileiro, a PETROBRAS exerce, por mais de cinco décadas, monopólio total, sendo a responsável por mais de 96% da Distribuição da produção de gás natural (ANP, 2020). Desse modo, faz-se necessário conhecer com profundidade as características desta empresa, a fim de entender melhor o cenário do mercado de gás no Brasil.

4.3 Petrobrás

A Petrobrás é uma sociedade anônima de capital aberto, com natureza estatal de economia mista, na qual o acionista majoritário é o governo do Brasil. Sua natureza mista faz com que a empresa enfrente diversos desafios, isto é, outrora a empresa de capital aberto necessita atender as expectativas do setor e visar o lucro, outrora, a sua essência estatal pode não estar alinhada ao lucro (ROJAS et al, 2019).

A empresa atua desde 1950 nos segmentos de exploração e produção, refino, comercialização, transporte, petroquímica, distribuição de derivados, gás natural, energia elétrica, gás-química e biocombustíveis, operando atualmente em 14 países (PETROBRAS, 2020).

A Petrobrás monopoliza o segmento de gás natural no Brasil, sendo responsável por aproximadamente 97% da produção (figura 22). No decorrer das últimas décadas, a empresa se consolidou e tornou a imagem do refino no Brasil. Segundo dados da ANP (2020), a empresa possuiu cerca de 95,5% da produção total, isto é, considerando a produção de petróleo e gás natural, conforme ilustra a tabela 5.

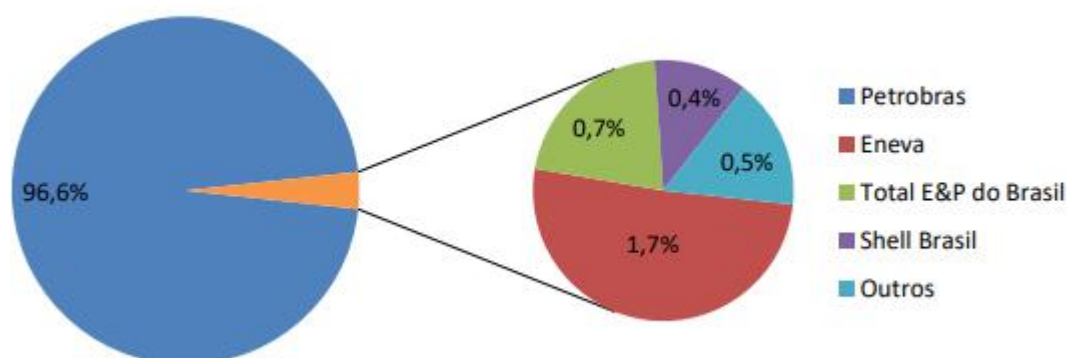


Figura 22 - Distribuição da produção de gás natural por operador.

Adaptado de ANP 2020.

Nº	Operador	Petróleo (bbl/d)	Gás Natural (Mm³/d)	Produção Total (boe/d)
1	Petrobras	2.868.420	123.914	3.647.816
2	Shell Brasil	47.279	513	50.504
3	Total E&P do Brasil	29.129	931	34.986
4	Petro Rio Jaguar	18.312	230	19.756
5	Enauta Energia S.A.	17.584	129	18.395
6	Eneva	13	2.235	14.068
7	Petro Rio O&G	7.759	25	7.918
8	Dommo Energia	5.854	15	5.949
9	Potiguar E&P S.A.	4.516	131	5.339
10	3R PETROLEUM	3.598	175	4.698
11	Perenco Brasil	4.197	22	4.333
12	Maha Energy	3.580	69	4.014
13	SHB	1.453	16	1.556
14	Petrosynergy	343	12	418
15	Nova Petróleo	208	2	220
16	Petroborn	0	35	220
17	Imetame	157	10	217
18	Partex Brasil	206	0,3	208
19	Petrogal Brasil	163	3	179
20	BGM	96	0,1	96
21	Recôncavo E&P	81	0,8	86
22	Phoenix Óleo & Gás	45	4,2	72
23	Santana	39	1	45
24	Vipetro	27	0,06	27
25	Newo	21	0,02	21
26	Alvopetro	13	0,78	17
27	EPG Brasil	15	0,3	17
28	Perícia	15	0,05	15
29	Guto & Cacal	14	0,05	14
30	Nord	4	0,005	4
31	Ubuntu Engenharia	3	0,005	3
32	Leros	1	0,002	1
33	Petroil	1	0	1
34	Central Resources	0,000002	0,0000003	0,000004
Total Geral		3.013.146	128.473	3.821.214

Tabela 5 - Distribuição da produção de petróleo e gás natural por operador.
Adaptado de ANP 2018.

É indiscutível a importância da empresa no setor, sendo responsável por diversas conquistas, tais como: descobertas de petróleo e gás natural no litoral brasileiro, ainda na década de 70; implementação do gasoduto Bolívia-Brasil, nos anos 90; construção

e gerenciamento da rede de gasodutos de escoamento e de transporte no Brasil; dentre outros feitos (ANP, 2018), (PETROBRAS, 2014).

Dessa forma, é notório que a Petrobrás tenha um papel central na dinâmica do gás natural no Brasil, sendo indiscutível o fato da sua autonomia para estabelecer o preço e disponibilidade do produto para o consumidor final (BARROSO et al, 2020).

Após mais de 65 anos de história, a grande empresa do setor petrolífero brasileira anunciou o seu reposicionamento, através da assinatura do Termo de Cessação de Conduta (TCC), em junho de 2019. Segundo Roberto Castello Branco, atual presidente, a empresa continua com seus valores primordiais: o compromisso com a sustentabilidade, competitividade, segurança e ética. A empresa muda seu objetivo central, isto é, a nova Petrobrás, tem como foco a dedicação à exploração e produção de petróleo em águas profundas, reduzindo assim sua participação no mercado de gás natural até 2021. Com essa redução a empresa acredita se tornar mais forte e menos endividada (PETROBRAS, 2020).

5. O TERMO DE COMPROMISSO DE CESSAÇÃO DE PRÁTICA

O termo de compromisso de cessação e prática (TCC), assinado dia 8 de julho de 2019, pelo Conselho Administrativo de Defesa Econômica (CADE) e a Petrobrás teve como objetivo central reduzir, de forma significativa, a participação da Petrobrás no mercado de gás natural até o final do ano de 2021. Com essa redução, espera-se o aumento da competitividade e dinamismo no setor (PETROBRAS, 2020). Vale ressaltar que, a Petrobrás pode pedir, se necessário, ao CADE dilatação de 1 (um) ano do prazo de execução dos Projetos de Desenvolvimento na Área de Gás Natural (TCC VERSÃO PÚBLICA, 2019).

A fim de entender e se aprofundar nos desdobramentos dessa decisão, faz-se necessário se aprofundar nas considerações e cláusulas do termo, bem como as consequências dessa assinatura.

5.1 Considerações do termo

Algumas considerações foram feitas, antes da assinatura do termo, as quais serviram como base para a decisão tomada, conforme quadro 1:

Considerações
<ul style="list-style-type: none">• Em 11/11/2015, por meio do Despacho SG nº 1306/2015, o Processo Administrativo nº 08700.002600/2014-30 foi instaurado para investigar alegada prática de conduta de abuso de posição dominante pela Petrobrás, na forma de oferecimento de condições comerciais (concessão de descontos) discriminatórias mais benéficas à Gás Brasileiro Distribuidora - GBD - distribuidora estadual de gás canalizado integrada ao Sistema Petrobrás, tendo o referido procedimento sido submetido ao Tribunal Administrativo de Defesa Econômica – TADE com recomendação de condenação da Petrobrás por suposta prática de infração à ordem econômica;• Em 15/06/2016, por meio do Despacho SG nº 722/2016, o CADE instaurou o Inquérito Administrativo nº 08700.007130/2015-82, a partir de representação da Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Gás Canalizado (Abegás) em face da Petrobrás, para investigar condutas da PETROBRAS relacionadas ao mercado de gás natural;• Em 23/05/2018, por meio do Despacho Decisório 120/2018 do Gabinete da Presidência do CADE, foi determinada a instauração do Inquérito Administrativo nº 08700.003335/2018-31, para investigar a atuação da Petrobrás no fornecimento de gás natural ao setor de energia como um todo, o qual foi apensado, em razão de relação de continência, em 07/06/2018, ao Inquérito Administrativo nº 08700.007130/2015-82;• Entre os anos de 2016 e 2018, tendo em vista a intenção da PETROBRAS de reduzir e otimizar sua participação no setor de gás natural, a PETROBRAS participou, junto a diversos outros agentes do mercado de gás, da Iniciativa do Gás para Crescer, que teve por objetivo propor medidas para o aprimoramento do arcabouço normativo do setor de gás natural;• Pela Iniciativa do Gás para Crescer pretendeu-se lançar as bases para um mercado de gás natural com diversidade de agentes, liquidez, competitividade, acesso à informação e boas práticas, e que contribua para o crescimento do país. As premissas dessa Iniciativa compreenderam a adoção de boas práticas internacionais, aumento da competição, diversidade de agentes, maior dinamismo

CONTINUA.

e acesso à informação, participação dos agentes do setor e respeito aos contratos, de modo a construir um ambiente favorável à atração de investimentos prioritariamente privados;

- Em 09/04/2019 foi editada a Resolução nº 4 do CNPE com a instituição do Comitê de Promoção da Concorrência do Mercado de Gás Natural no Brasil, tendo como atribuição propor medidas de estímulo à concorrência no mercado de gás natural;

- Os Procedimentos Administrativos não imputaram uma conduta específica por parte da PETROBRAS e que esta Companhia, com a assinatura deste TC, não está reconhecendo a prática de qualquer ato ilícito;

- O presente Termo de Compromisso consubstancia os esforços de cooperação entre CADE e PETROBRAS para execução do relevante e voluntário desinvestimento na área de gás natural que a PETROBRAS pretende realizar no Brasil, colaborando com o movimento para abertura do mercado de gás natural no Brasil.

Quadro 1 - Considerações feitas no termo de compromisso de cessação e prática (TCC)

Pode-se concluir com as considerações acima apresentadas, que diversos fatores contribuíram para essa tomada de decisão. No entanto, o fator determinante para essa assinatura foi o desejo da Petrobrás em reduzir e otimizar sua participação no mercado de gás natural, focando agora no pré-sal (PETROBRAS, 2020), alinhados com a necessidade de uma maior abertura do mercado. Dessa forma, como já mencionado anteriormente, espera-se realizar com essa decisão uma abertura do mercado de gás natural no Brasil, aumentando assim o dinamismo e investimento no setor (TCC VERSÃO PÚBLICA, 2019).

5.2 Cláusulas do termo

A primeira cláusula do termo de compromisso de cessação de prática consiste na descrição do objetivo e da abrangência. Observa-se na descrição, de forma clara, a visão principal: “Abertura do mercado brasileiro de gás natural, incentivando a entrada de novos agentes econômicos no mercado de gás natural” (TCC VERSÃO PÚBLICA, 2020). Frente ao posicionamento descrito no TCC, a empresa até então

oligopólio do setor no Brasil, se compromete a comprimir integralmente os compromissos firmados com o CADE (PETROBRAS, 2020).

A segunda cláusula, por sua vez, relata as obrigações da compromissária. De acordo com o termo, a Petrobrás se compromete a colocar em processo de alienação suas participações societárias na Nova Transportadora do Sudeste S.A. (NTS) e na Transportadora Associada de Gás S.A. (TAG), na qual possui participação de 10% em cada. Além disso, a compromissária garante sua alienação na Transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia-Brasil S.A (TBG), onde possui participação de 51% (por meio da subsidiária Petrobrás Logística de Gás S.A. Tal medida será após a definição da receita da TBG com a conclusão da chamada pública para contratação de capacidade disponível. Por fim, a compromissária afirma também sua abstenção na participação acionária indireta em companhias distribuidoras, isto é, se compromete a vender suas ações na Gaspetro, onde possui 51%, ou as ações que a Gaspetro tem nas demais distribuidoras (TCCP VERSÃO PÚBLICA, 2020).

Dessa maneira, o termo relata, ainda na segunda cláusula, de forma detalhada, as medidas a serem tomadas, assim como os prazos previstos. Segundo o documento, a compromissária se dispõe a seguir o seguinte cronograma:

(a) Divulgação ao Mercado sobre cada processo competitivo (“Teaser”) até 31/03/2020, em conjunto com a implementação da definição da receita da TBG;

(b) Assinatura dos Contratos de Compra e Venda (“Signing”) até 31/12/2020 ou em até 9 (nove) meses da divulgação do Teaser, o que ocorrer por último;

(c) Fechamento das Operações (“Closing”) até 31/12/2021 ou em até 12 (doze) meses do *Signing*, o que ocorrer por último.

Dessa forma, espera-se que todas as obrigações sejam concluídas até 31/12/2021, podendo a compromissária solicitar ao CADE o adiamento, por 1 (um) ano, do prazo de execução dos Projetos de Desinvestimento na Área de Gás Natural, se necessário.

Importante mencionar ainda que, de acordo com a segunda cláusula do termo, a PETROBRAS tem como obrigação negociar, de forma justa e não discriminatória, o

acesso de terceiros aos sistemas de escoamento de gás natural, atendendo, para os casos em que os sistemas possuírem coproprietários, o regramento estabelecido para tais sistemas. A compromissária ainda deve se atentar as negociações de acesso de terceiros às unidades de processamento de gás natural observadas as diretrizes do “Caderno de Boas Práticas de Gás Natural – Diretrizes para Acesso de Terceiros a Unidade de Processamento de Gás Natural – UPGN”, ou até regulamentação a ser editada pela ANP aplicável a todos os agentes do setor (TCCP VERSÃO PÚBLICA, 2020).

Por fim, nas demais cláusulas, o termo evidencia:

- Condições de suspensiva eficácia (3ª cláusula);
- Compromissos relacionados (4ª cláusula), como por exemplo, a elaboração de relatórios e o compromisso de confidencialidade;
- Exigências dos compradores de ativos desinvestidos (5ª cláusula),
- Exigências de monitoramento (6ª cláusula);
- Suspensão e do arquivamento dos procedimentos administrativos (7ª cláusula);
- Medidas a serem tomadas mediante ao não cumprimento das obrigações previstas por parte da compromissária (8ª e 9ª cláusulas).

Vale ressaltar que mediante a dificuldades econômicas encontradas no país, principalmente, em decorrência da pandemia do Sars-CoV-2, algumas datas sofreram alteração. Como por exemplo, o prazo para venda da transportadora de gás Nova Transportadora do Sudeste (NTS), que estava previsto para 31/12/2020 segundo o termo e foi prorrogado para 30/04/21 de acordo com o CADE e a Petrobrás. Outras datas também tiveram reajustes, mas o prazo final de fechamento das operações (31/12/2021) se manteve, até o presente momento (ANP, 2021).

Sendo assim, mediante as informações expostas nesse capítulo, no que se refere as considerações e cláusulas presentes no documento, pode-se concluir que ambos envolvidos (CADE e Petrobrás) estão de comum acordo, e assim como dito anteriormente, ambos possuem como objetivo principal a alienação da Compromissária no mercado de gás, dando assim origem ao NOVO MERCADO DE GÁS NATURAL, com novos entrantes e maior dinamismo.

Conclui-se então que, mediante a essa nova característica do mercado, que implicará em um maior dinamismo do setor e novas oportunidades, somados a versatilidade do gás natural e ao aumento da demanda de energia e a necessidade de um mundo mais sustentável, faz-se necessário a realização de uma análise tecnológica do gás natural a fim de compreender as tendências tecnológicas futuras do setor. Tal prospecção foi desenvolvida e será apresentada nos capítulos a seguir.

6. PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

A inovação está atrelada a criação de um novo produto ou o aperfeiçoamento de um produto, processo ou tecnologia já existente. O processo de inovação requer planejamento estratégico. Dessa forma, uma análise tecnológica e mercadológica aprofundada são indispensáveis no processo de inovação (BASTOS et. al, 2021).

O dinamismo e a velocidade que as coisas mudam no mundo industrializado, atrelado aos avanços tecnológicos, as políticas sociais e ambientais e os fatores econômicos despertaram os olhares para a necessidade de estar preparado para as mudanças que o mercado e a sociedade demandam. Desse modo, é evidente a necessidade de estudos sistemáticos capazes de prever mudanças, assim como, sua força propulsora (BORSCHIVER et al., 2016).

Com base nessa exigência, os âmbitos acadêmicos e empresariais estão investindo cada vez mais, na ideia de prospectar ou explorar o futuro. A prospecção, por sua vez, é um conjunto de conceitos e técnicas, as quais são empregadas de modo a prever comportamentos futuros, sejam eles: socioeconômicos, políticos, culturais e tecnológicos, bem como o efeito dessas ações (BORSCHIVER et al., 2016).

De acordo com Amaro et. al. (2012), a prospecção tecnológica é de extrema relevância, sendo ela o mecanismo fundamental para guiar os interesses empreendidos para o desenvolvimento de uma inovação. O papel da prospecção, de acordo com Amaro et al., não é antever o futuro, e, sim, analisar as condições tecnológicas, de forma, a realizar as escolhas corretas.

Já de acordo com Teixeira (2013), o objetivo principal da prospecção é encontrar as áreas de pesquisa estratégica e as tecnologias emergentes, as quais possuem uma maior tendência de gerar benefícios econômicos e sociais no futuro. A fim de possibilitar o alcance dessa meta, diversas técnicas são empregadas, como por exemplo: identificar oportunidades e necessidades futuras, prever os impactos das pesquisas atuais e da política tecnológica, encontrar novas demandas sociais, novas possibilidades e novas ideias, monitorar as áreas econômica, tecnológica, social e ambiental.

Em suma, a metodologia baseada na prospecção tecnológica permite gerar uma visão do estado da arte de um setor, constituindo sua trajetória passada, o seu presente e tendências futuras para seu mercado. Sendo assim, é sabido que a prospecção é protagonista na criação de uma inovação e sua elaboração tem ganhado cada vez mais destaque. Durante o processo de prospecção diversas estratégias podem ser empregadas, de forma a fornecer resultados qualitativos e quantitativos. Alguns métodos também são utilizados na criação da prospecção, visando sistematizar o processo, como por exemplo: Cenários, Método Delphi, Matriz SWOT e *Roadmap* Tecnológico (BORSCHIVER et al., 2016).

No que diz respeito à busca dos artigos e patentes utilizados na prospecção tecnológica, pode-se utilizar diversas bases de pesquisa, como por exemplo, o *Scopus*, o USPTO, Patent Inspiration, dentre outros. Os artigos encontrados com auxílio da base *Scopus* forneceram uma fonte confiável de informação, na qual os resultados evidenciam uma tendência tecnológica a longo prazo. Já os resultados obtidos na análise de patentes representam o crescimento tecnológico a curto e médio prazo, e podem ser utilizados como indicadores de inovação, evidenciando a estrutura e o desenvolvimento de uma indústria específica.

Esse capítulo tem como objetivo central realizar uma prospecção tecnológica do gás natural, de forma a analisar o cenário tecnológico atual e as principais tendências tecnológicas do mercado de gás natural no Brasil e no Mundo.

6.1 Análise artigos

6.1.1 METODOLOGIA

A pesquisa dos artigos utilizados para a construção deste trabalho foi realizada na base de dados Scopus, da Elsevier. A plataforma foi acessada através do sistema Proxy UFRJ e do portal de periódicos Capes, via acesso CAFE. Como ilustra a figura 23, o termo “*natural gas*” foi definido como palavra-chave, sendo o mesmo pesquisado simultaneamente no título (*article title*) e no resumo (*abstract*) com auxílio do operador booleanos “AND”. Vale destacar que, foi estipulado um período padrão de 10 anos para as pesquisas, com início em 2010 e término em 2020. A metodologia foi, enfim, considerada satisfatória, gerando 12144 artigos como resultado. Todos os documentos encontrados foram examinados na análise Macro, e apenas os cem mais recentes foram analisados e contabilizados na etapa Meso e Micro do trabalho.

Start exploring

Discover the most reliable, relevant, up-to-date research. All in one place.

[Documents](#) [Authors](#) [Affiliations](#)

Search within
Article title

Search documents *
"natural gas"

AND

Search within
Abstract

Search documents
"natural gas"

Published from
2010

To
2020

Added to Scopus
Anytime

[+ Add search field](#) [Remove date range](#) [Advanced document search >](#) [Reset](#) [Search Q](#)

Figura 23 - Metodologia escolhida de busca de artigos na base Scopus.

Imagem obtida pelo autor.

6.1.2 ANÁLISE MACRO

Na etapa de análise **Classe Nível Macro** os documentos são analisados de forma qualitativa, levando em consideração informações históricas de publicação, distribuição por países, áreas do conhecimento com maior relevância, principais *players* dentre outras informações que permitam uma análise geral do cenário.

No presente trabalho, a busca foi realizada na base de dados Scopus, com auxílio da palavra-chave “natural gas” sendo pesquisado no título e resumo, resultou em 12144 artigos. A análise Macro desses documentos foi feita com auxílio da própria plataforma, através da ferramenta “Analyze Search Results”.

A figura 24 a seguir mostra o número de artigos publicados em cada ano. Apesar de uma leve queda entre os anos de 2010 e 2011 e 2014 e 2015, é possível observar uma tendência de crescimento ao longo dos dez anos analisados, inclusive no ano de 2020, academicamente atípico em decorrência da pandemia do Sars-CoV-2. Esse aumento no número de publicações pode ser explicado pelo interesse mundial em energia, devido ao aumento da demanda energética, somados com o interesse global por fontes de energia mais sustentáveis (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2013).

Documents by year



Figura 24 - Número de artigos por ano.

Imagem obtida pelo autor.

A figura 25 apresenta os dez países que mais publicaram documentos sobre gás natural entre 2010 e 2020, com destaque para a China, que lidera com 3633 dos 12144 artigos (aproximadamente 30% do total). O grande interesse chinês em gás natural pode ser explicado pelos esforços do seu governo em substituir sua principal matriz energética, o carvão, por outras mais limpas (INEEP, 2020). O gás natural vem se destacando nessa transição por ser uma fonte mais acessível; ser menos poluente que o carvão e o petróleo, já que seu uso deixa menor pegada de CO₂ (TEIXEIRA, 2015); e por ser vantajoso diplomática e economicamente, permitindo que a China assuma o protagonismo da indústria na região asiática. O empenho do governo nessa mudança fica evidente nos grandes investimentos em infraestrutura realizados pelo país, com destaque ao gasoduto Força da Sibéria inaugurado em 2019, ligando a Sibéria, na Rússia, ao norte da China (BBB NEWS MUNDO, 2019).

Nessa lista, o Brasil ocupa a nona posição, evidenciando assim um interesse tecnológico, a longo prazo, do país no setor. O número de documentos publicado, ainda que pequeno se comparado as grandes potências, isto é, menos de 3%, mostra de forma otimista o avanço e crescimento do Brasil nesse ramo.

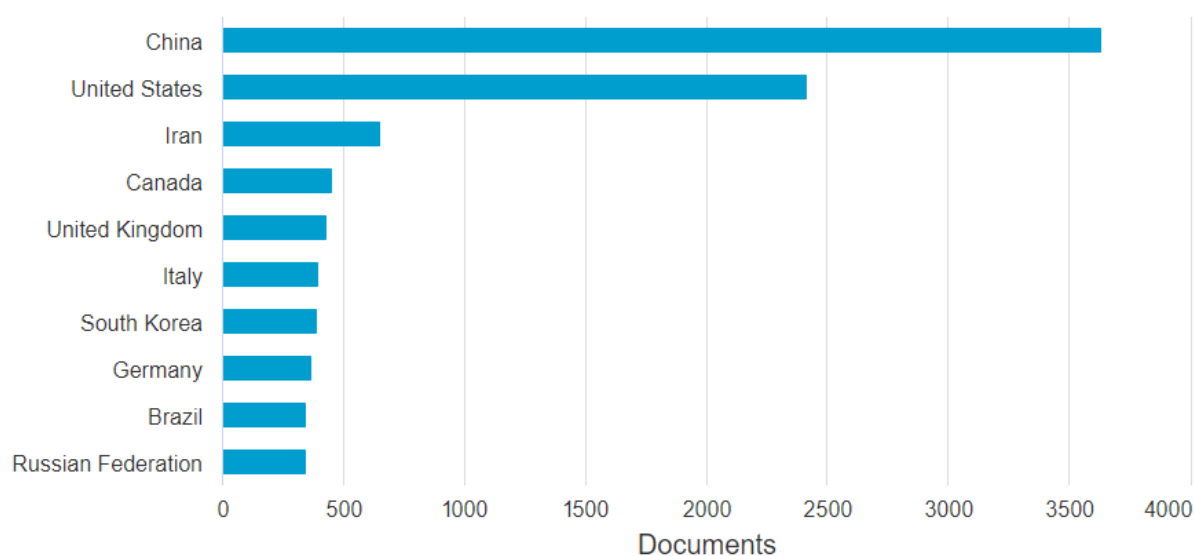


Figura 25 - Os 10 países principais em publicações.

Imagem obtida pelo autor.

A figura 26, por sua vez, evidencia os 10 principais *players* do setor, que, com exceção do último (da Noruega), são todos da China. Esse resultado comprova mais uma vez, a predominância e o interesse do país em pesquisas sobre gás natural, com empresas e universidades participando desse esforço.

Importante mencionar também que, entre os 10 principais *players*, a maioria são Universidades e Institutos de pesquisa, o que já era previsível, uma vez que, essas instituições dominam a pesquisa tecnológica a longo prazo.

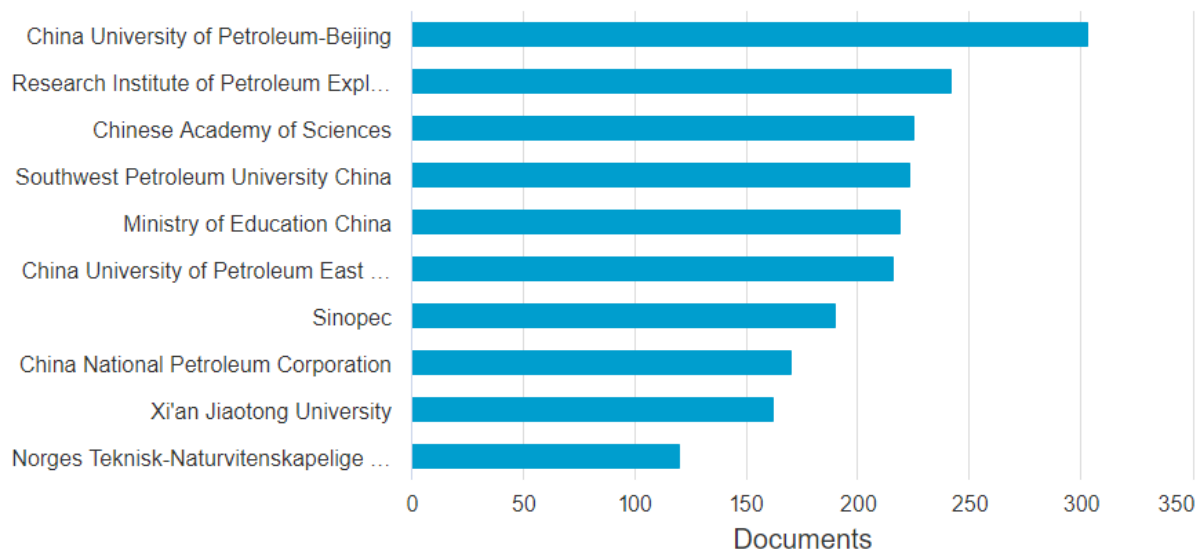


Figura 26 - Os 10 principais *players* em publicações.

Imagem obtida pelo autor.

Por fim, a figura 27 divide os 12144 artigos em áreas do conhecimento. A área de maior destaque é justamente a energética (24,1%), o que já era esperado, uma vez que, a demanda energética tem crescido e o interesse nesse setor despertado (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2013). A segunda posição fica para o setor de engenharia (19,8%), o que pode ser explicado pela quantidade expressiva de documento chineses.

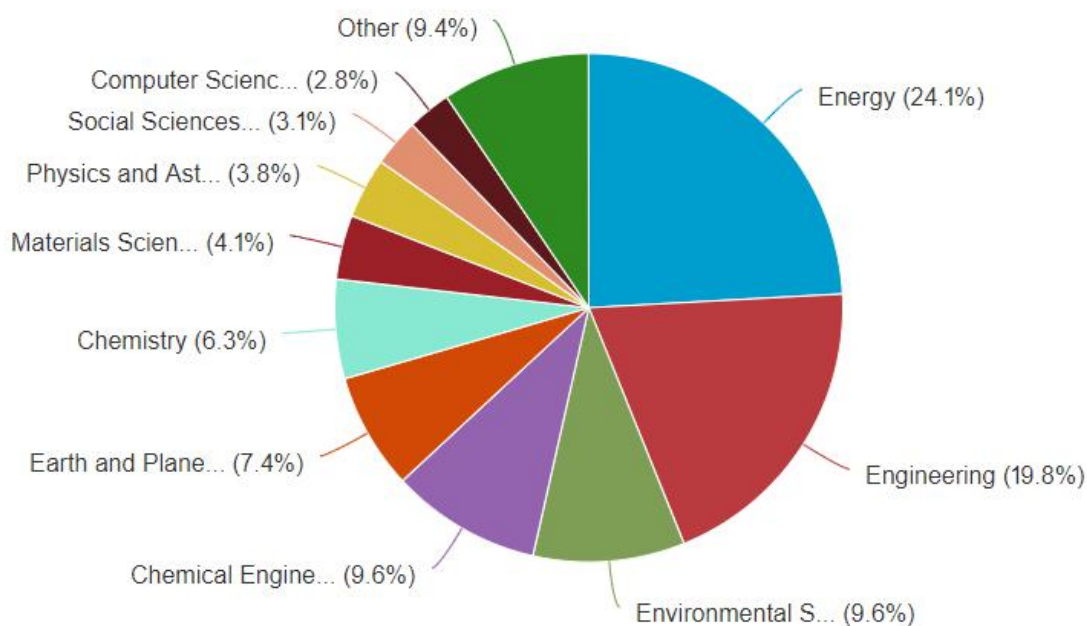


Figura 27 - Publicações por área do conhecimento

Imagem obtida pelo autor.

6.1.3 ANÁLISE MESO

Na análise **Classe Nível Meso** os documentos são analisados e classificados de acordo com os aspectos mais relevantes sobre o tema. Isto é, após uma análise da literatura, na etapa pré-prospectiva, e uma leitura diagonal dos artigos escolhidos, foram identificadas as principais tendências e com base nelas foram definidas as taxonomias.

Importante destacar que, para a realização da análise Meso, 100 artigos foram escolhidos por ordem cronológica de publicação, isto é, os mais recentes. Mediante a análise dos mesmos foram selecionadas 8 taxonomias sendo elas: “Transporte”, “Meio Ambiente”, “Exploração e Produção”, “Aplicação”, “Otimização”, “Armazenamento”, “Análise Físico-Química” e “Beneficiamento”. As definições de cada taxonomia se encontram na tabela 3.

Taxonomia	Definição
“Transporte”	Quando o documento se refere a etapa de transporte do GN, seja o transporte via gasodutos, cilindros, navios ou caminhões. Essa Meso inclui também artigos voltados a etapa de liquefação, visando posteriormente o transporte do gás.
“Meio Ambiente”	Quando o documento se refere a questões ambientais.
“E&P (exploração e produção)”	Quando o documento se refere a etapa de exploração e produção do GN.
“Aplicação”	Quando o documento se refere as diversas aplicações do GN, seja industrial ou automotiva.
“Otimização”	Quando o documento se refere a otimização de alguma etapa do processo.
“Armazenamento”	Quando o documento se refere a etapa de estocagem do GN. Essa Meso inclui também documentos voltados a etapa de liquefação, visando posteriormente o armazenamento.
“Análise Físico-Química”	Quando o documento se refere as análises físico-químicas do GN
“Beneficiamento”	Quando o documento se refere a algum beneficiamento realizado no produto final ou no processo.

Tabela 5 - Definição de cada taxonomia Meso.

Após a definição de cada taxonomia, e a leitura de cada artigo, pôde-se analisar em qual categoria cada artigo se encaixava e assim encontrar os seguintes resultados explicitados na figura 28. Cabe ressaltar que o mesmo documento apresenta mais de uma taxionomia.

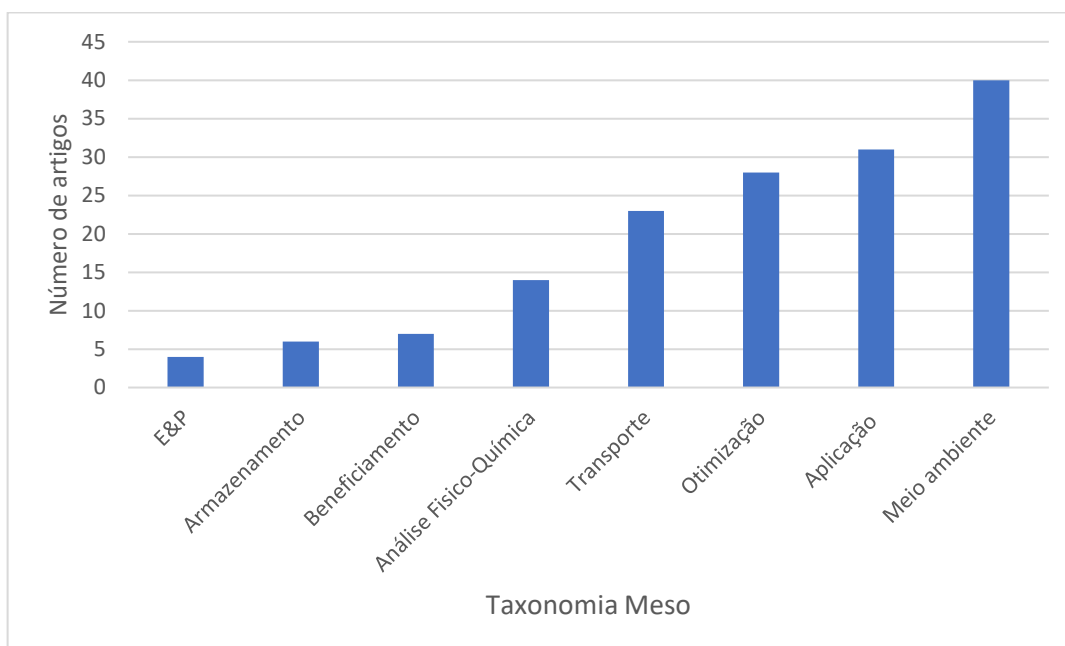


Figura 28 - Número de artigos por taxonomia Meso.

Imagem obtida pelo autor.

Como pode-se observar, tem-se um elevado número de artigos enquadrados na taxonomia Meso “Meio ambiente”, isto é, 40% dos documentos lidos retratam de alguma maneira questões ambientais, seja no uso do gás natural como “ponte” para transição energética, ou até mesmo, no estudo de formas de diminuir vazamentos e demais problemas ambientais possíveis no processo de produção. Esse resultado é coerente com o esperado, uma vez que é evidente o crescimento global por sustentabilidade. A exigência por um mundo mais sustentável tem promovido esforços com anseio de encontrar maneiras de conseguir sociedades ambientalmente corretas (SALAS-ZAPATA et al., 2011). Esse despertar reflete diretamente na procura por combustíveis mais limpos e menos agressivos ao meio ambiente, impactando assim no aumento de estudos correlacionando meio ambiente e gás natural. Tem-se como exemplo, a busca por uma fonte de energia de baixo carbono, onde o gás natural representa uma alternativa promissora (PLANO NACIONAL DE ENERGIA 2050). O trabalho “Low-carbon oriented optimal energy dispatch in coupled natural gas and electricity systems” de Wang et al (2020), por exemplo, reforça essa ideia do uso do gás natural como fonte de energia de baixo carbono.

Ao analisar o gráfico da figura 28, pode-se observar a relevância da taxonomia Meso: “Aplicação”. Esse resultado é interessante, pois demonstra o interesse a longo prazo do uso do gás natural, em diversas aplicações, reforçando a sua versatilidade. O uso do gás natural possui tendência de expansão nos próximos 20 anos, principalmente, no setor automotivo e na geração de energia (BARROSO et al, 2020). Esse fato justifica o aumento do interesse a longo prazo em artigos sobre aplicações do gás natural, com ênfase em motores e aplicação industrial. Tem-se como exemplo de artigos que abordam essa temática, o trabalho de Rotaru et. al. (2020), o qual tem como título “*Experimental investigations of an automotive diesel engine fuelled with natural gas in dual fuel mode.*”, nele é destacado o uso do gás natural em motores, destacando as vantagens ecológicas e tecnológicas do uso de gás natural nesta área. Já no que diz respeito a aplicação industrial, tem-se como exemplo, o estudo de Tulyaganov (2020) em “Optimization of natural gas combustion in furnace of steam boilers”, onde ele evidencia o uso do gás natural como fonte de energia em fornos e cadeiras a vapor.

É possível concluir também que a taxonomia Meso “Transporte” se destaca. Um dos fatores que potencializa o interesse nesse setor é o alto custo dessa etapa, que corresponde cerca de 65% do custo final da cadeia de produção (SILVESTRE, 2012), além disso, as limitações técnicas e os riscos de desastres dessa etapa atraem a atenção para esse tema. Um exemplo de documento que aborda esse assunto, evidenciando essa busca maneiras mais seguras de transporte de gás natural é o documento “Resilience-Based design of Natural Gas Pipelines” de Villa et al. (2020). Sendo assim, é compreensivo o interesse por busca de novas maneiras e métodos de otimização nesse segmento. Por fim, é possível perceber também que a taxonomia “Otimização” possui uma alta incidência, com exemplos de vários modelos matemáticos, os quais tem como objetivo criar ferramentas capazes de dinamizar e otimizar o processo, o trabalho de “*CFD modelling of natural gas combustion in IC engines under different EGR dilution and H2-doping conditions*” Baratta et al (2020) evidência essa temática.

Vale ressaltar que, a taxonomia Meso “Análise Físico-Química” possuiu um índice de ocorrência significativo, cerca de 15% dos documentos abordam esse assunto. Esse fato pode ser explicado, principalmente, por se tratar de análise de artigos e terem como fontes, em sua maioria, as universidades e centros de pesquisas, os quais

dedicam atenção a essa temática. Isto é, de forma geral, o estudo a longo prazo busca por entender melhor o material, suas propriedades, e assim encontrar maneiras futuras de aprimorar as demais etapas da cadeia de produção, como, por exemplo, transporte e armazenamento. Como exemplo de trabalho que destaca esse assunto pode-se citar: “Analysis of Natural Gas Using a Portable Hollow-Core Photonic Crystal Coupled Raman Spectrometer.” Khannanov et al. (2020).

As demais taxonomias Meso, como “E&P”, “Beneficiamento” e “Armazenamento” aparecem em uma menor frequência para análise Meso de artigos, menos de 7% ambas. Pode-se citar como exemplo de cada categoria, respectivamente, o documento “Key technologies for the integration of deepwater natural gas exploration and development and their application in the Qiongdongnan Basin” de Kui et al (2020); o trabalho “Solid Sorbents as a Retrofit Technology for CO₂ Removal from Natural Gas Under High Pressure and Temperature Conditions” de Khraisheh et al (2020), e por fim, “Heat removal for adsorbed natural gas storage: Lab to industrial scale” de Wang et al (2020).

6.1.4 ANÁLISE MICRO

Na realização da análise **Classe Nível Micro**, faz-se necessário especificar, em alguns casos, os *drivers* acima apresentados. Isto é, detalhar uma taxonomia Meso em duas ou mais taxonomias Micros visando uma melhor compreensão e análise do tema.

Para realizar essa análise focal foi preciso uma leitura mais detalhada de cada artigo e o embasamento teórico obtido na etapa pré-prospectiva. Os resultados e definições das taxionomias Micro obtidas se encontram descritos na tabela 6. Vale ressaltar que algumas taxionomias Mesos não possuem taxonomias Micro, sendo mantidas as definições já apresentadas.

Taxonomia Meso	Taxonomia Micro	Definição
"Transporte"	"Onshore"	Quando o documento trata da etapa de transporte realizada em terra.
	"Offshore"	Quando o documento trata da etapa de transporte realizada fora da costa
"Aplicação"	"Industrial"	Quando o documento trata da aplicação industrial, seja ela, usando o GN como promissor de energia para o processo ou o GN como matéria-prima na indústria petroquímica.
	"Motores"	Quando o documento trata da aplicação automotiva/Veicular ou em outros tipos de motores.
"Otimização"	"Energética"	Quando o documento trata da otimização de alguma etapa energética de produção.
	"Transporte"	Quando o documento trata da otimização da etapa de transporte.
"Beneficiamento"	"Aditivos"	Quando o documento trata do uso de aditivos para beneficiamento do GN.
	"Purificação"	Quando o documento trata da purificação do GN ou alguma etapa do processo.
	"Recuperação"	Quando o documento trata da recuperação do GN ou de alguma etapa do processo.

Tabela 6 - Definição de cada taxonomia Micro.

Os resultados obtidos para número de artigos em cada taxonomias Micro estão explicitados no gráfico da figura 29. Importante ressaltar que, as taxonomias Mesos que não possuíram taxonomias Micros, não estão presentes no gráfico da figura 29.

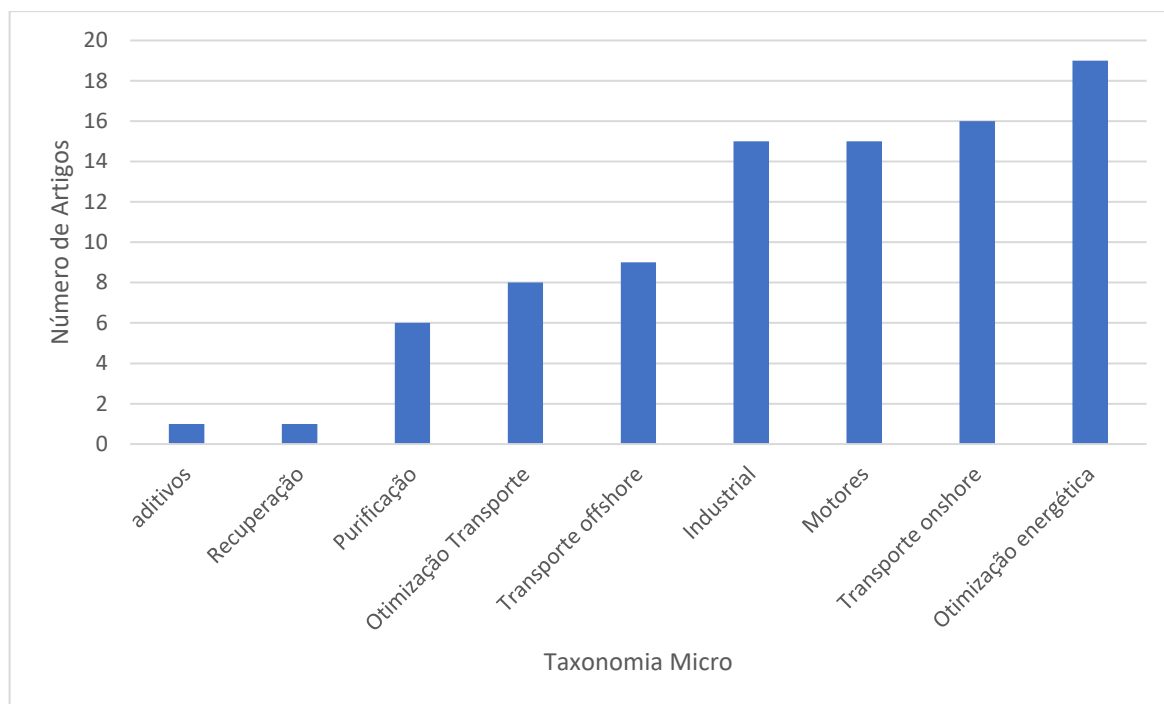


Figura 29 - Número de artigos por taxonomia Micro.

Imagem obtida pelo autor.

Como pode se observar dentro da taxonomia Meso “Aplicações”, foi possível encontrar dois grandes grupos: “Aplicação industrial” e “Aplicação em Motores”, tendo ambos alta incidência e valores equilibrados.

A grande incidência em “Aplicações Motores” pode ser explicada pelo aumento do uso gás natural veicular (GNV), o qual tem se tornando cada vez mais disseminado, devido às questões ambientais, ou seja, o gás natural é um combustível mais limpo e emite menos particulado se comparado aos outros combustíveis de origem fóssil (ANP, 2002). Arelados a isso o gás natural também se destaca pela sua competitividade econômica e seu maior rendimento, se comparado a uma mesma quantidade de outro combustível fóssil (ANP, 2018). Dentre os artigos analisados, um número expressivo se tratava do uso do gás natural como substituto do diesel em veículos pesados, reforçando assim essa característica mais limpa do gás natural em detrimento dos demais combustíveis não renováveis, o trabalho de Rotaru et al (2020) retrata essa temática. Outros documentos também abordam o uso de gás natural como combustível veicular reforçando suas vantagens ambientais e econômicas, como por exemplo, o estudo de de Miagkov et al (2020) - “*Development of liquefied*

natural gas transport and creation of energy infrastructure for its functioning in Russia”

-. Por fim, outro fator que também corrobora para a alta incidência dessa taxonomia Micro são as questões econômicas, políticas de incentivo ao uso do gás natural veicular e dinamismo do mercado. Como exemplo de política de incentivo no Brasil, pode-se destacar a assinatura do termo de concessão e conduta pelo CADE e pela Petrobrás, a qual ocorreu em 2019, e tem como objetivo central dinamizar o mercado de gás natural (TCC, 2019).

Já a alta incidência na taxonomia Micro de “Aplicação Industrial”, que envolve o uso do GN como matéria prima ou como fonte de energia, pode ser explicado pelo grande interesse do país com mais documentos publicados, China, em substituir sua matriz energética, ou seja, a procura a longo prazo por aplicações industriais, principalmente energética, do gás natural pode ser resultado dos esforços do governo chinês em substituir o carvão, por outras fontes de energia mais limpas (INEEP, 2020). Um documento que retrata esse ponto é o estudo de Hu et al (2020) em *“Forecasting manufacturing industrial natural gas consumption of China using a novel time-delayed fractional grey model with multiple fractional order”*.

Ainda analisando os dados obtidos na figura 29, é possível confirmar uma afirmação feita outrora, sobre o interesse do setor na etapa de transporte (SILVESTRE, 2012). Sendo uma taxonomia Micro de “Otimização Transporte” destinada diretamente para essa etapa, visando otimizar e diminuir os custos demandados por esse segmento. O trabalho *“Spatio-temporal Fusion Model of Natural Gas Pipeline Condition Monitoring Based on Convolutional Neural Network and Long Short-term Memory Neural Network”* de Zhang et al (2020), por exemplo, adota a combinação de rede neural convolucional unidimensional (CNN) e longa rede de memória de curto prazo (LSTM) para identificar com precisão o status do gasoduto de gás natural, reduzindo as perdas econômicas causadas por condições anormais de trabalho, além de melhorar o funcionamento e eficiência dos operadores. Há também uma taxonomia Micro destinada para “Otimização Energética”, demonstrando a relevância desse tema e o enfoque das grandes instituições em aprimorar e otimizar o uso dessa aplicação, como o trabalho de Hu et al (2020).

Vale mencionar também que a predominância dos documentos referentes ao “Transporte *onshore*” em detrimento do “Transporte *offshore*” é notória, fato esse que pode estar relacionado com as características geológicas dos principais *players*, ao

elevado risco de vazamentos e explosões, como o trabalho de SUN (2020), “*Analysis of Indoor Natural Gas Leakage Explosion*”, que retrata os riscos de explosão no transporte de gás natural.

Por fim, as taxonomias Micros, como “Purificação”, “Recuperação” e “Aditivos”, as quais estão dentro da taxonomia Meso “Beneficiamento” tem como objetivo distinguir as diferentes vertentes presentes no *driver* correspondente, de forma a facilitar uma visão, aprofundada e clara, do futuro. Ambas apresentaram baixa incidência, sendo purificação a categoria com um número mais expressivo, o que pode ser explicado pelo interesse, a longo prazo, em um produto de melhor qualidade. Tem-se como exemplo de documentos que expõem esses temas: “*Superglassy polymers to treat natural gas by hybrid membrane/amine processes: Can fillers help?*” de Ameen et al. (2020); “*Regeneration of unconventional natural gas by methanogens co-existing with sulfate-reducing prokaryotes in deep shale wells in China*” de Zhang et al. (2020) e “*An experimental study the impact of the hydrogen enrichment on cycle-to-cycle variations of the large bore and lean burn natural gas spark-ignition engine*” de Dua et al. (2020), respectivamente.

6.2 Análise patentes concedidas

6.2.1 METODOLOGIA

A fim de entender o dinamismo e avanços tecnológico do setor de gás natural a curto prazo, uma análise das patentes concedidas, nos últimos anos, foi realizada sobre os dados obtidos pelas plataformas Patent Inspiration e a USPTO.

Na primeira plataforma, foram pesquisadas as patentes estritamente concedidas que contivessem “natural gas” em seu título ou resumo, sem restrição temporal, apenas excluindo o ano de 2021 da busca, conforme evidencia a metodologia ilustrada na figura 30.

Vale ressaltar que, a base Patent Inspiration foi utilizada na sua versão gratuita para a obtenção de informações gerais e amplas sobre as patentes concedidas para

o setor de gás natural, usadas na análise Macro, a qual será descrita no decorrer deste capítulo.

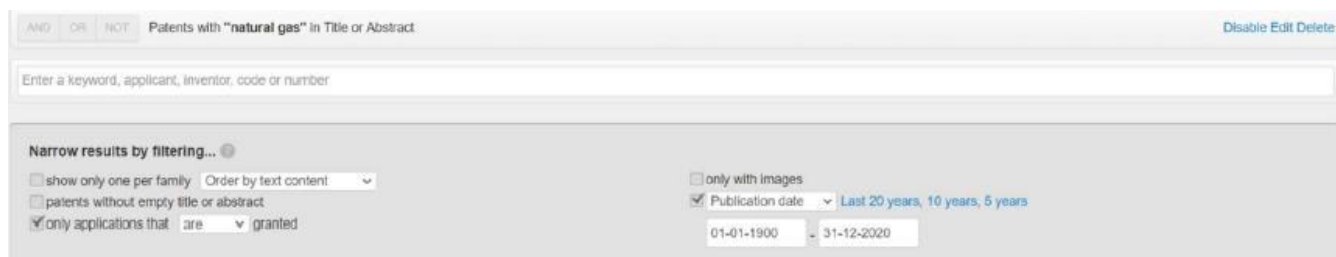


Figura 30 - Metodologia aplicada para a busca de patentes concedidas na base Patent Inspiration.

Imagem obtida pelo autor.

Já para a realização da análise Meso e Micro, a base USPTO foi empregada e utilizada para a seleção das 100 patentes analisadas, as quais foram escolhidas por ordem de publicação, ou seja, as mais recentes. Essa base foi preferida por conta de seu fácil acesso e por conter patentes de todo o mundo. A pesquisa foi realizada no modo avançado, como mostra a figura 31, sendo a palavra-chave “natural gas” procurada no título e no resumo das patentes, conforme mostra o seguinte comando: `ttl/("natural gas") and abst/("natural gas") and ISD/1/1/2019->12/31/2020`.

Importante mencionar que foi aplicado uma restrição temporal de dois anos, com início em janeiro de 2019 e término em dezembro de 2020, sendo selecionados os 100 documentos mais recentes, número adequado para uma pesquisa de prospecção tecnológica. Essa faixa temporal foi imposta com objetivo de diminuir o volume de documentos gerados pela base e facilitar assim a escolha/análise dos 100 documentos. Esse artifício não ocasionou divergências nas análises de patentes se comparado aos artigos, uma vez que, para análise Meso e Micro dos artigos, apesar da faixa temporal de 10 anos, foram selecionados os 100 documentos mais recentes.

USPTO PATENT FULL-TEXT AND IMAGE DATABASE

[Home](#)
[Quick](#)
[Advanced](#)
[Pat Num](#)
[Help](#)

[View Cart](#)

Data current through May 4, 2021.

Query [\[Help\]](#)

ttl/("natural gas") and abst/("natural gas") and
 ISO/1/1/2019->12/31/2020

Select Years [\[Help\]](#)

1976 to present [full-text]

Examples:

ttl/(tennis and (racquet or racket))

isd/1/8/2002 and motorcycle

in/newmar-julie

[Search](#)
[Redefinir](#)

Patents from 1790 through 1975 are searchable only by Issue Date, Patent Number, and Current Classification (US, IPC, or CPC).
 When searching for specific numbers in the Patent Number field, utility patent numbers are entered as one to eight numbers in length, excluding commas (which are optional, as are leading zeroes).

Figura 31 - Metodologia aplicada para a busca de patentes concedidas na base USPTO PatFT.

Imagem obtida pelo autor.

6.2.2 ANÁLISE MACRO

Com auxílio da metodologia descrita anteriormente na figura 30, a figura 32 foi plotada, a mesma mostra o número de patentes concedidas por cada ano, no período de 20 anos com início em 2001 e término em 2020. A linha azul no gráfico representa a tendência do setor de gás natural ao longo período analisado, claramente de crescimento, apesar da leve queda no ano de 2017.

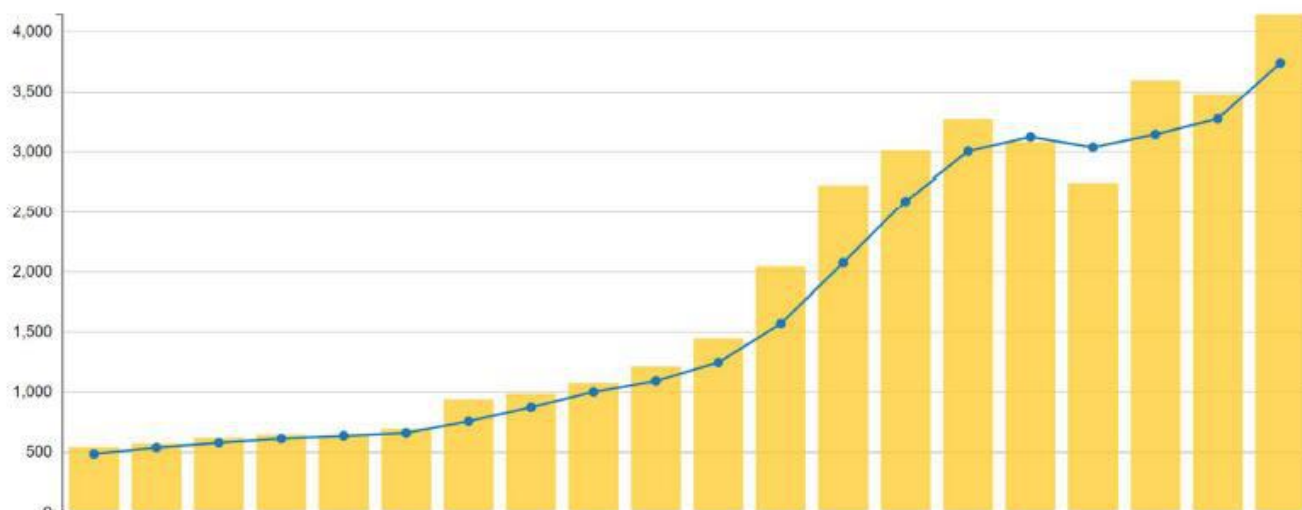


Figura 32 - Número de patentes sobre gás natural concedidas por ano.

Imagem obtida pelo autor.

Ainda com objetivo de entender os avanços tecnológicos e o dinamismo do setor foi realizada uma análise dos principais países, cujo resultado se encontra no gráfico da figura 33 a seguir:

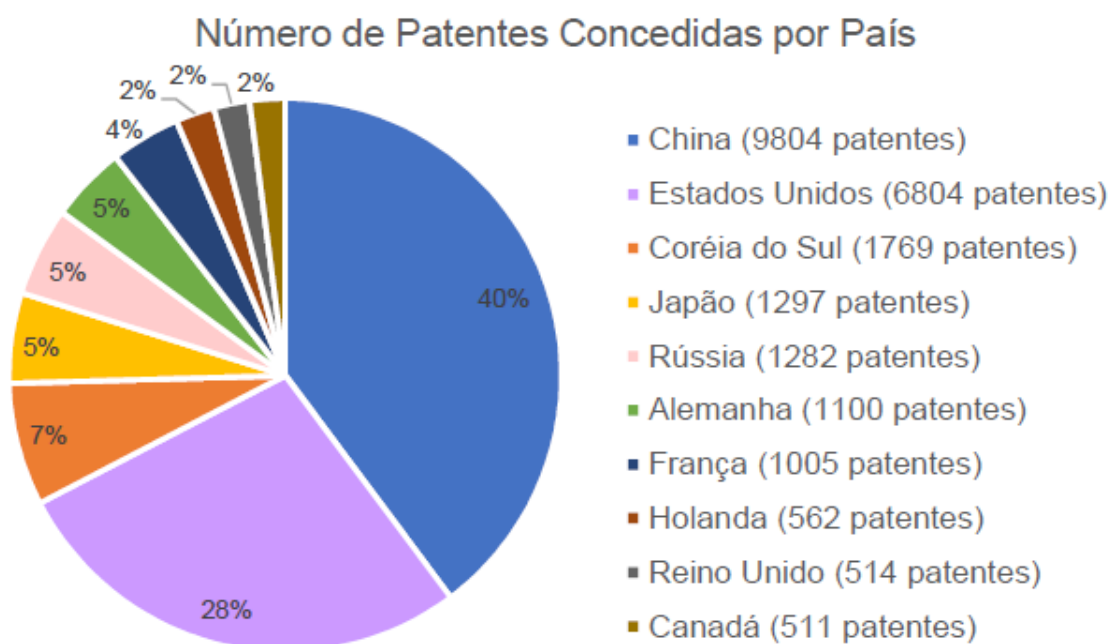


Figura 33 - Número de patentes concedidas por país (os 10 maiores).

Imagem obtida pelo autor.

Como pode-se observar, o gráfico da figura 33 mostra os dez países que mais possuem patentes concedidas sobre gás natural ao longo de todo o período pesquisado, isto é, últimos 20 anos.

O destaque é da China, que ocupa o primeiro lugar com 9804 patentes, seguida dos Estados Unidos com 6804. O motivo desse protagonismo é o grande interesse chinês em gás natural, o qual pode ser explicado pelos esforços do seu governo em substituir sua principal matriz energética, o carvão, por outras mais limpas, como já discutido anteriormente no capítulo 6.1.2.

A presença da Rússia nesse ranking, com 5% das patentes (1282), pode ser esclarecida pelo país possuir, sozinho, cerca de 20% das reservas mundiais de gás natural (ANP, 2019), o que justificaria seu interesse em pesquisa e desenvolvimento na área.

Já o grande número de patentes pertencentes aos Estados Unidos pode ser explicado pelo chamado *boom* da exploração do gás natural não-convencional (o *shale gas* ou gás de xisto), que ocorreu no país principalmente a partir de 2011 (LAGE, 2019). Consequência do sucedido desenvolvimento da técnica de exploração de gás de xisto chamada *fracking*, essa expansão tornou o país um dos grandes produtores de gás natural em escala global, apesar de só possuir cerca de 7% das reservas mundiais (MME, 2007). Interessante evidenciar o grande crescimento em publicações a partir dessa data, vide gráfico 32.

Os demais países não presentes no gráfico, como o caso do Brasil, possuem menos de 2% das patentes totais. Esse dado indica que apesar de crescente o interesse por gás natural no mercado brasileiro, o Brasil ainda possui uma menor relevância que os demais países, no que diz respeito a uma análise a curto prazo. Esse fato pode ser explicado pelas limitações tecnológicas do Brasil e ainda baixo incentivo e investimento no setor, se comparado aos grandes produtores.

Para finalizar a análise Macro, foi construído com base nas 100 patentes concedidas a relação do número de patentes com os tipos de *players* possíveis, como mostra o gráfico 34. Percebe-se que, como esperado, a maior quantidade de patentes pertence a empresas (80% do total). As universidades e institutos de pesquisa, em sua maioria da China, concentram 15% das patentes analisadas. Há, também, 5 patentes de pessoas físicas. Esse resultado já era esperado, tendo em vista que, as empresas dominam as publicações de patentes de forma geral.

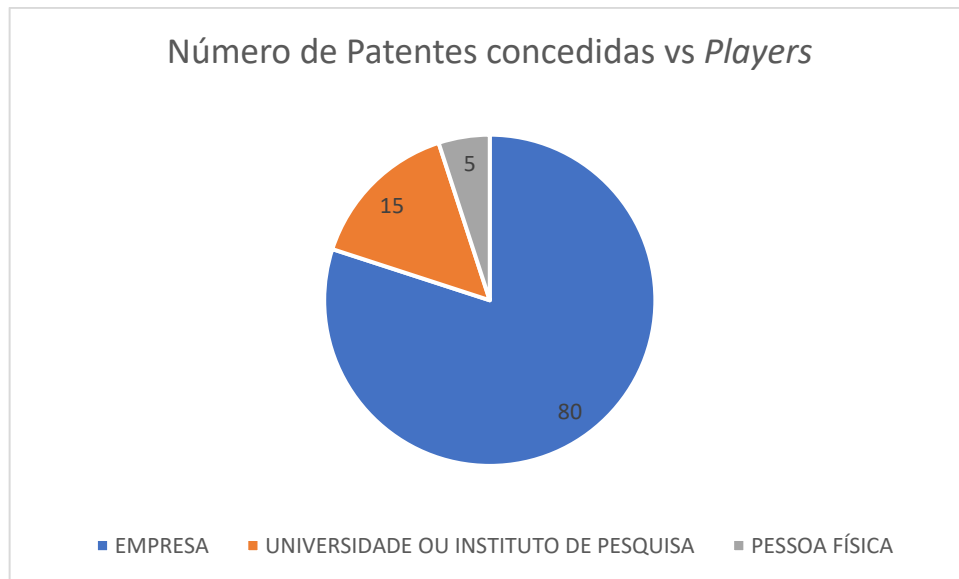


Figura 34 - Número de patentes concedidas por tipo de *players* para as 100 patentes selecionadas.

Imagem obtida pelo autor.

6.2.3 ANÁLISE MESO

Para realização de análise Meso para patentes concedidas, as taxonomias usadas foram similares as dos artigos, tendo, portanto, as mesmas definições prescritas na tabela 5. Os resultados obtidos podem ser encontrados na figura 35 a seguir.

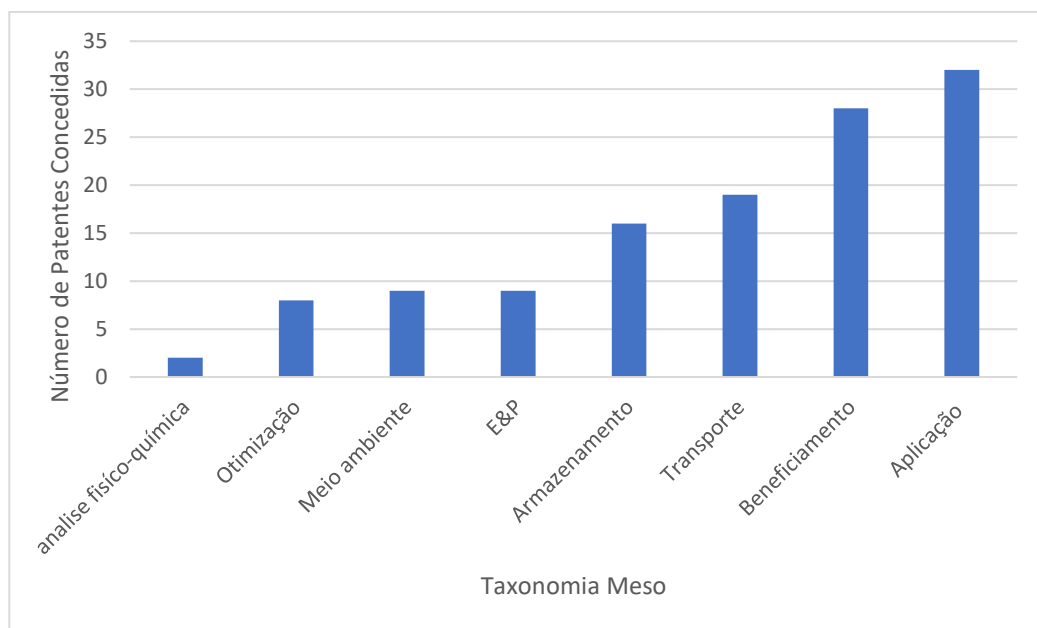


Figura 35 - Taxonomia Meso por número de patentes concedidas.

Imagem obtida pelo autor.

Como é possível perceber, as taxonomias Mesos “Aplicação”, “Beneficiamento” e “Transporte” predominam em detrimento das demais. Esse resultado é coerente, tendo em vista que as patentes concedidas, estão diretamente relacionadas com empresas, grandes *players*, os quais procuram soluções imediatas para obtenção de um produto de melhor qualidade, explicando assim o porquê de o segmento de “Beneficiamento” ganhar notoriedade. Um exemplo de patente que aborda essa temática é a “*Method and system for purification of natural gas using membranes*” de Ding et al (2016).

Grande parte das patentes estão relacionadas com o uso do gás natural, seja ele como matéria-prima, como fonte de energia ou combustível, esse resultado é similar ao encontrado para artigos e evidencia o interesse dos grandes *players* na utilização do gás natural, confirmando assim estudos feitos anteriormente, os quais indicam a expansão do uso do gás natural nos próximos 20 anos, principalmente, no setor automotivo e na geração de energia (BARROSO et al, 2020). Projeções preveem que a demanda total de gás natural tem aumento de 5% ao ano no decênio, com exceção dos anos entre 2023 e 2026 onde se prevê uma queda devido à crise da Covid-19 (EPE, 2020). Pode-se citar como exemplo de patente que retrata o uso

do gás natural em motores o trabalho de Kurtz et al (2006) - “*System and method for reducing NOx emissions for natural gas engines*” -.

A taxonomia Meso de “Transporte”, por sua vez, fica em terceiro lugar pelo mesmo motivo já descrito anteriormente. Isto é, essa etapa é um gargalo no processo, por ser a etapa mais custosa e possuir limitações técnicas, exigindo assim estudos aprofundados sobre a temática a curto, médio e longo prazo. O trabalho “*Remote natural gas supply station using LNG tank container and method for supplying natural gas using the same*” publicado em 2014, retrata o transporte de gás natural em cilindros e expõe suas limitações, no que diz respeito, a condições físicas como pressão.

A taxonomia “Armazenamento”, por sua vez, mostrou valores significativos, ocupando o quarto lugar, com um total de 16 documentos abordando essa temática. Esse fato pode ser explicado pelas características climáticas dos países onde estão localizados os maiores *players*, uma vez que o costume do armazenamento é comum em países frios e pode ser realizado, por exemplo, em cavernas durante o inverno (GRAVINA, 2008). O documento de “*Methods for storage and transportation of natural gas in liquid solvents*” (HALL et al, 2012), por exemplo, estuda formas de armazenamento do gás menos custosas e mais seguras.

Por fim, faz-se necessário mencionar que, em patentes concedidas, a taxonomia Meso “Meio Ambiente” não ganhou tanto destaque, diferente do que ocorreu em artigos, onde a mesma ficou em primeiro lugar. Esse dado é intrigante e pode revelar uma problemática, isto é, indica que as grandes empresas ainda têm foco em outras temáticas, como por exemplo, as taxonomias Mesos de “Aplicações” e “Transporte”, deixando em segundo plano o assunto sustentabilidade e meio ambiente. No entanto, apesar do menor destaque, trabalhos importantes abordaram esse tema, como é o caso da patente “*Natural gas combined power generation process with zero carbon emission*” publicada em 2019 por Qiao et al.

6.2.4 ANÁLISE MICRO

Para análise Micro, foram utilizadas as mesmas taxonomias descritas no tópico 6.1.4. Os resultados obtidos podem ser observados no gráfico da figura 36.

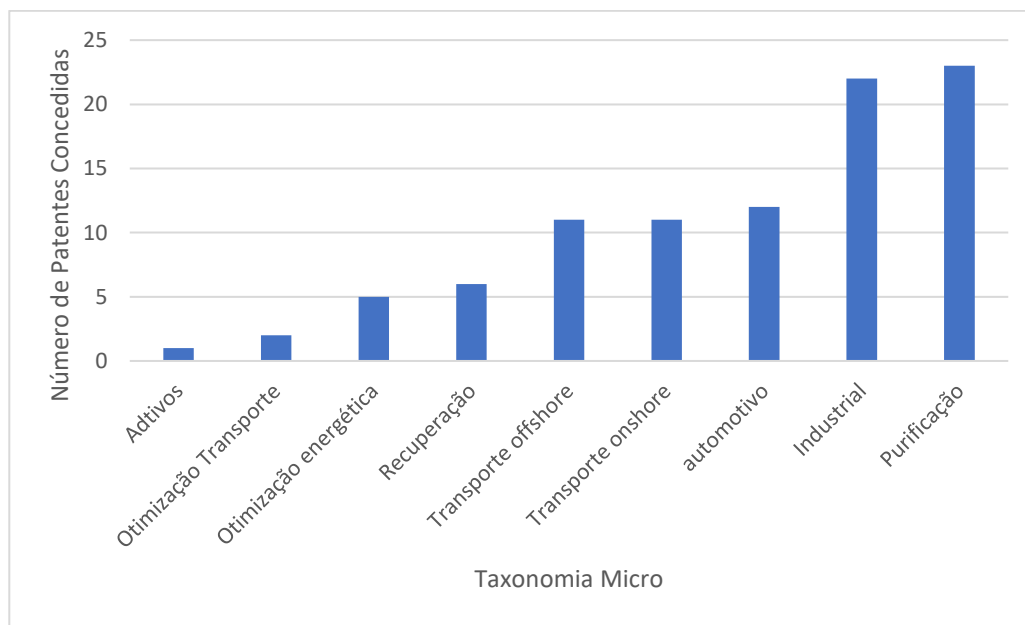


Figura 36 - Taxonomia Micro por número de patentes concedidas.

Imagem obtida pelo autor.

Ao analisar a figura 36, pode-se concluir que a premissa feita em relação ao “Beneficiamento” atrelado com o objetivo dos *players* em produzir um produto de maior qualidade se mostra consistente, uma vez que é possível observar o elevado interesse por purificação, o que evidencia a busca por um produto de maior valor agregado. Tem-se como exemplo o trabalho “*Processes for removing heavy hydrocarbons and water from a stream of natural gas*” publicado em 2019 pela companhia UOP LLC, o qual aborda processos de remoção de contaminantes, água e hidrocarbonetos pesados, do gás natural.

Já no que diz respeito a taxonomia Meso “Aplicação”, é possível perceber a relevância da “Aplicação industriais” em relação as “Aplicação motores”, diferente do que foi observado na análise Micro realizada para artigos, onde ambas mostraram valores equilibrados. Esse fato pode ser explicado pelo elevado uso do GN na indústria como fonte de energia, principalmente na China, que é o país com maior

número de documentos (INEEP, 2020). Além do uso do gás natural como matéria-prima, como, por exemplo, para a produção de amônia, que é de extremo interesse e necessidade na indústria de fertilizantes. Dessa forma, é justificável o elevado interesse das patentes por aplicações industriais em detrimento das aplicações em motores a curto prazo. Dentre as patentes analisadas, pode-se destacar o trabalho de Lishchiner et al. (2017): “*Methods for producing aromatic hydrocarbons from natural gas and installation for implementing same*”, que tem o uso do gás natural como fonte de matéria-prima.

O elevado uso do gás natural para aplicação energética também corrobora para o maior interesse em “Otimização Energética” se comparado com a “Otimização em Transporte”, como pode ser observado na figura 36. O trabalho publicado em 2019 pela Saudi Arabian Oil Company, “*Continuous mixed refrigerant optimization system for the production of liquefied natural gas (LNG)*”, evidência essa temática visando maneiras de otimizar o aproveitamento de energia da planta.

Por fim, ao analisar as taxonomias Micros referentes a “Transporte *onshore*” e “Transporte *offshore*”, os valores encontrados são equilibrados, não sendo possível obter conclusões com base apenas nesse resultado. Tem-se como exemplo de patentes sobre esse assunto: “*Methods for storage and transportation of natural gas in liquid solvents*” (HALL, 2012) e “*Compressed natural gas fueling system with integrated fill receptacle*” (MILTON, 2016), respectivamente.

6.3 Análise patentes depositadas

6.3.1 METODOLOGIA

Uma análise tecnológica a médio prazo, também foi realizada, visando entender o cenário de gás natural e suas perspectivas nos próximos anos. A metodologia de busca foi similar a aplicada para patentes concedidas, isto é, o termo “natural gas” foi procurado no título e no resumo e restrições de tempo não foram empregadas. No entanto, ambas se diferem na seleção, onde dessa vez foi selecionado apenas as patentes não concedidas, isto é, aquelas que foram apenas solicitadas. A figura 37, abaixo, mostra essa diferença na metodologia aplicada na base Patent Inspiration. Note a escolha do termo “*Only applications that are not*

granted” no lugar de “*Only applications that **are** granted*” como feito anteriormente na escolha de patentes depositadas.

Figura 37 - Metodologia aplicada para a busca de patentes depositadas na base Patent Inspiration.

Imagem obtida pelo autor.

Já na USPTO trocou-se a base de pesquisa, utilizando-se a USPTO Patent Application Full-Text and Image Database (AppFT). A opção avançada de busca foi novamente escolhida e a restrição de dois anos aplicada nas patentes concedidas foi removida depois das tentativas de inclusão não gerarem resultados. As 100 patentes depositadas foram selecionadas novamente partindo da data mais recente. Os comandos inseridos foram os seguintes: (ttl/("natural gas") and abst/("natural gas")), isto é, a palavra-chave “natural gas” foi definida como obrigatoriedade no título e no resumo, como exemplificado na figura 38. Os 100 resultados mais recentes dos obtidos (1338 patentes) foram os analisados nas etapas Micro e Meso das patentes depositadas deste trabalho.

Figura 38 - Metodologia aplicada para a busca de patentes depositadas na base USPTO AppFT.

Imagem obtida pelo autor.

6.3.2 ANÁLISE MACRO

O gráfico da figura 39 mostra o número de patentes depositadas por ano, no mesmo período de 20 anos com início em 2001 e término em 2020. A tendência, representada pela linha azul é de crescimento expressivo, mais acentuado do que o observado no gráfico das patentes concedidas, apesar da menor razão patentes/ano. É possível observar, a partir de 2011, um aumento na inclinação da linha de tendência, ou seja, um crescimento no depósito de patentes. O período coincide com do *boom* do *shale gas* que ocorreu nos Estados Unidos e com a implementação do programa de substituição de matriz energética na China (LAGE, 2019), (INEEP, 2020).

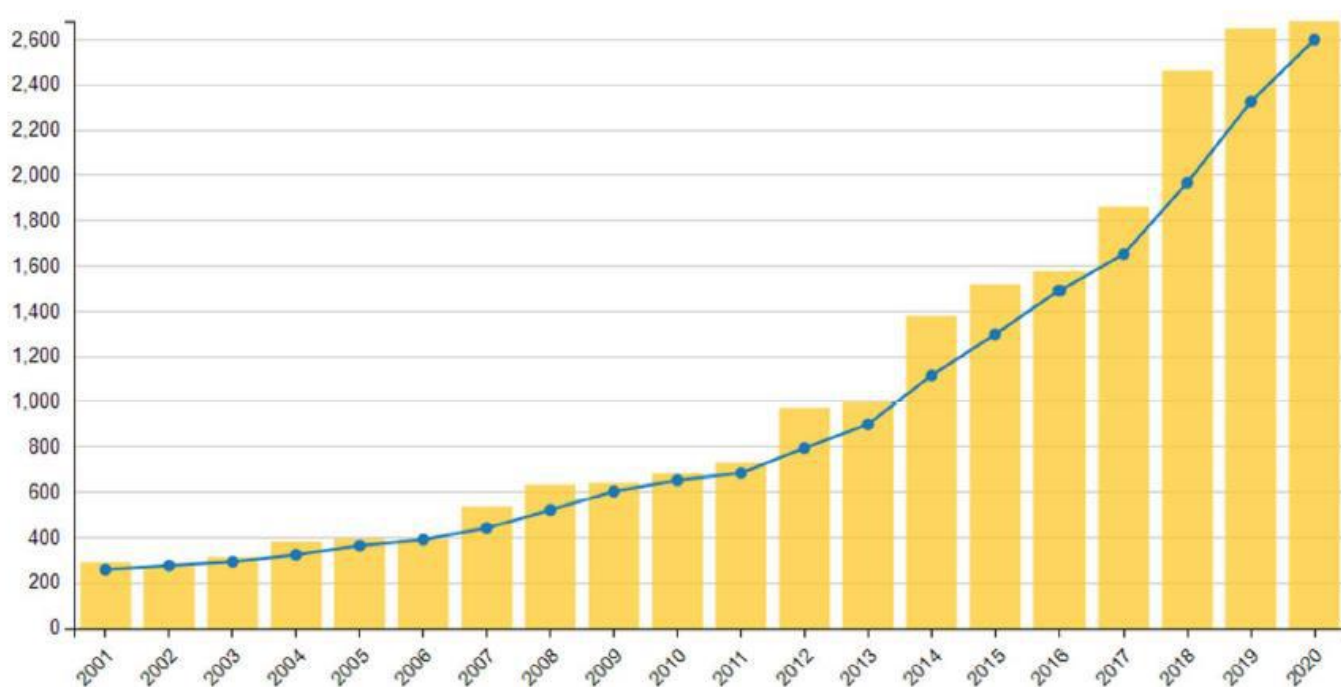


Figura 39 - Número de patentes sobre gás natural concedidas por ano

Imagem obtida pelo autor.

O gráfico da figura 40, por sua vez, relaciona o número de patentes com os 10 países solicitantes que mais depositaram, para todo o período disponível na plataforma. Os Estados Unidos assumem a liderança dessa vez, com 5127 patentes depositadas contra 4687 da China. Torna-se complicado determinar o motivo dessa inversão apenas com os dados obtidos para todo o período.

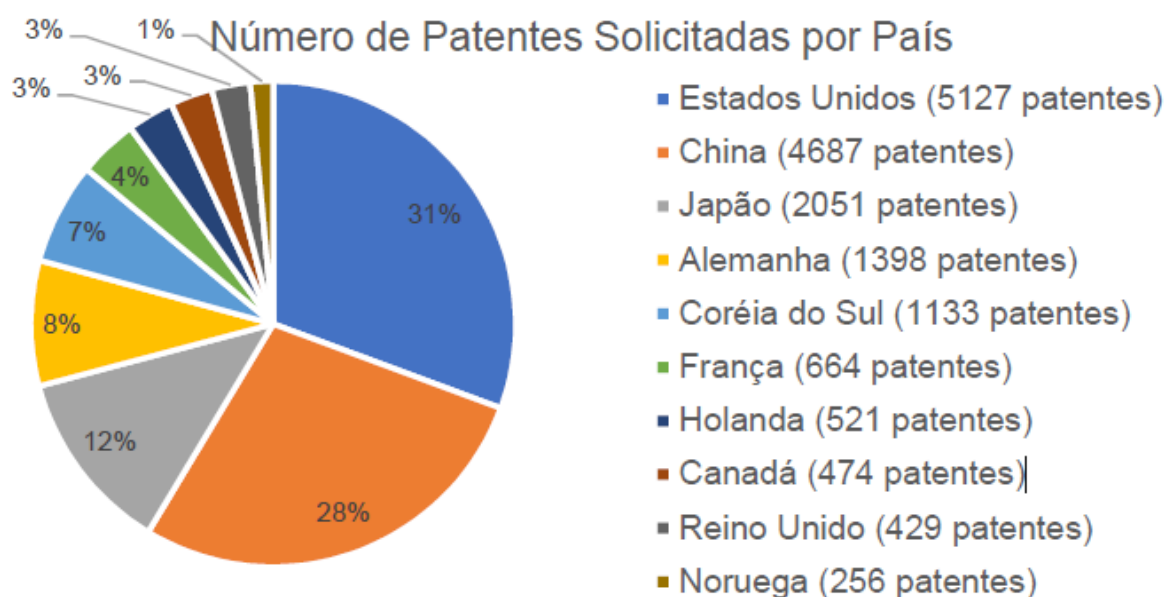


Figura 40 - Número de patentes sobre gás natural solicitadas por país.

Imagem obtida pelo autor.

Dessa forma, foram excepcionalmente aplicadas algumas restrições temporais na Patent Inspiration nesta etapa, a fim de possibilitar maiores interpretações. Tais restrições são:

- Período a) 2001 a 2020
- Período b) 2001 a 2010
- Período c) 2011 a 2020

Percebe-se que no período de 20 anos analisados, os Estados Unidos depositaram mais patentes do que a China, com 4383 e 4324, respectivamente, como sinalizado na figura 41. Entre os anos de 2001 e 2010, figura 42, os Estados Unidos mantiveram-se na liderança e entre 2011 e 2020, figura 43, a China assumiu a posição. Houve um crescimento expressivo de depósitos chineses justamente durante os esforços governamentais de substituição do carvão como principal matriz energética. Além disso, é coerente que os Estados Unidos estivessem na liderança antes de 2011 e do *boom* do *shale gas*, já que as tecnologias que permitiram essa expansão foram desenvolvidas antes da exploração propriamente dita. O aumento de

depósitos chineses no período mais recente pode indicar que, nos próximos anos, o país assuma, também, a liderança das solicitações de patentes, se consolidando no setor do gás natural.

Número de Patentes por País (2001-2020)



Figura 41 - Número de patentes solicitadas por país de 2001 a 2020

Imagem obtida pelo autor.

Número de Patentes por País (2001-2010)

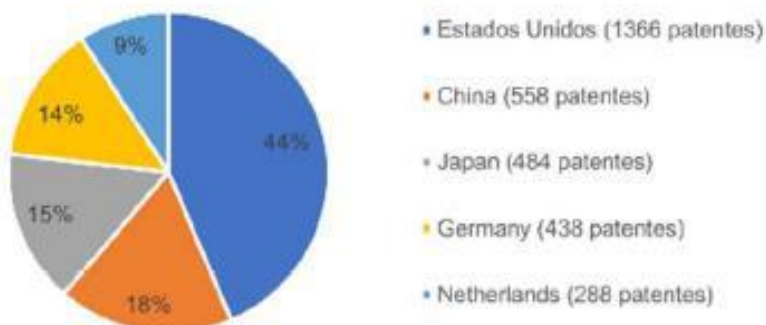


Figura 42 - Número de patentes solicitadas por país de 2001 a 2010

Imagem obtida pelo autor.

Número de Patentes por País (2011-2020)



Figura 43 - Número de patentes solicitadas por país de 2011 a 2020.

Imagem obtida pelo autor.

De forma similar as patentes concedidas, o Brasil não se encontra entre os 10 países que mais solicitam patentes. Esse fato repousa, novamente, no baixo investimento do país em tecnologia, se comparado aos demais países.

Entretanto, mesmo não possuindo impacto similar as grandes potências, como China e EUA, o Brasil tem expandido seus avanços tecnológicos no setor, o que pode ser comprovado com o fato de estar presente entre os 10 países com mais artigos publicados, além disso, o aumento na demanda de energia no país e no mundo tem intensificado e movimentado o mercado tecnológico brasileiro em prol de novas tecnologias. Espera-se também, que as medidas econômicas adotadas para movimentar e dinamizar o setor no Brasil, em 2019, influenciem diretamente no cenário tecnológico do país.

Por fim, o gráfico da figura 44, último desta seção, relaciona as patentes depositadas com os tipos de *players*. As empresas são as principais solicitantes, assim como nas patentes concedidas, concentrando cerca de 68% do total. Seguidos das Universidade e Institutos com 29% e, por fim, pessoas físicas, com apenas 3%. Importante destacar, que o número de patentes realizadas pelas universidades e institutos de pesquisa teve um aumento considerável, de 15% para 29%, se comparado as patentes concedidas. Esse resultado pode evidenciar o aumento do interesse dos centros de pesquisa e universidade em desenvolvimento de novas tecnologias, assim como, o aumento de parcerias de universidades e empresas.

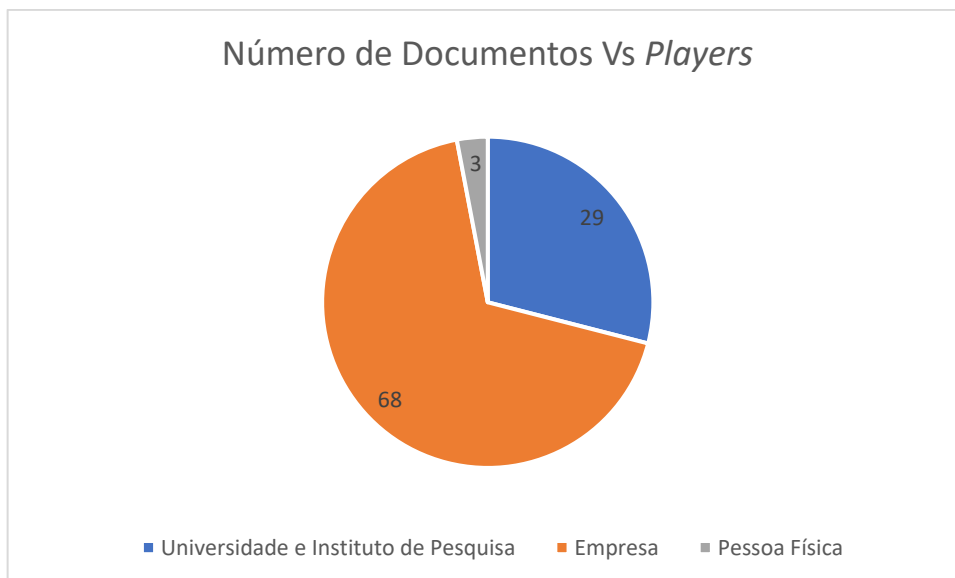


Figura 44 - Número de patentes depositadas por tipo de *players* para as 100 patentes selecionadas.

Imagem obtida pelo autor.

6.3.3 ANÁLISE MESO

Para realização de análise Meso para patentes solicitadas, as taxonomias usadas foram similares as usadas para artigos e para as patentes concedidas. O resultado encontrado pode ser observado no gráfico da figura 45.

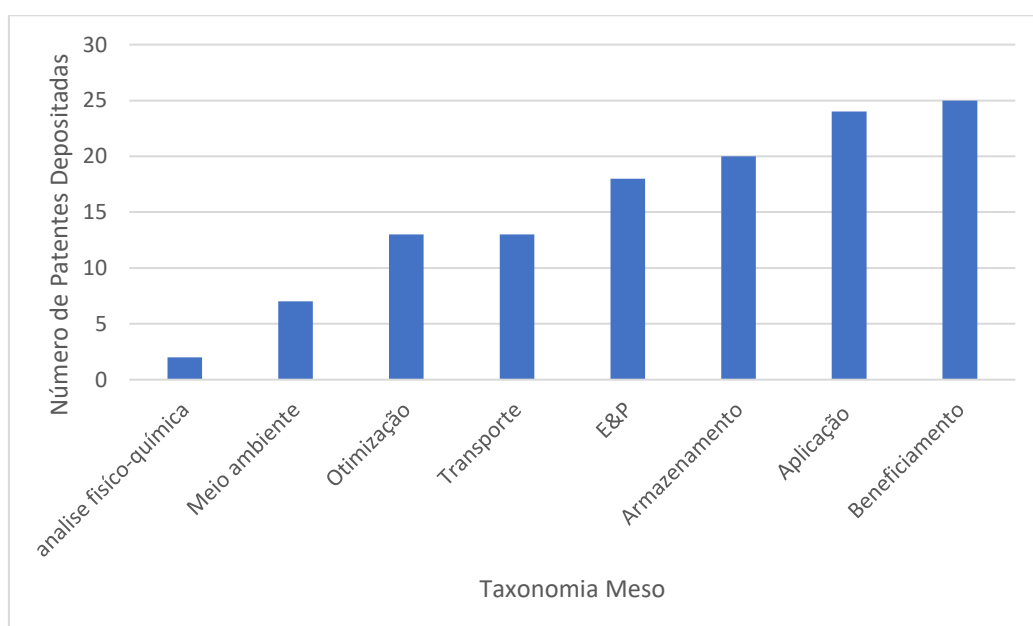


Figura 45 - Taxonomias Meso por número de patentes solicitadas.

Imagem obtida pelo autor.

Como pode-se perceber, foi obtido um resultado, relativamente, equilibrado para as categorias referente “Beneficiamento”, “Armazenamento”, “Aplicação” e “E&P”. As taxonomias Mesos “Beneficiamento” e “Aplicação” continuam com notoriedade, na análise de patentes solicitadas, por motivo análogo ao já discutido. Isto é, o interesse das grandes empresas em maneiras para obtenção de um produto de melhor qualidade, o que explica o elevado número em “Beneficiamento”, somados, a diversidade do gás natural e sua tendencia de expansão, o que justifica o expressivo número de patentes voltadas para as formas de uso do GN. Como exemplo de patentes depositadas que estudam essas temáticas, pode-se destacar, o trabalho de Belmabkhout et al (2016) “*Metal organic framework absorbent platforms for removal of co2 and h2s from natural gas*” e “*Oil Injection Methods for Combustion Enhancement in Natural Gas Reciprocating Engines*” de Singh et al (2020), respectivamente.

Diferente do observado na análise Meso para artigos e patentes concedidas, tem-se agora as taxonomias Meso “Armazenamento” e “E&P” com elevada relevância. Esse fato pode ser explicado pelo interesse da indústria, a médio prazo, nesses segmentos, uma vez que, para as grandes empresas é necessário a busca constante por novas formas e novos locais de exploração e produção, bem como, o conhecimento aprofundado sobre outras maneiras de armazenamento, buscando sempre eficiência, menores custos e segurança. Os trabalhos “*natural gas liquefaction device and natural gas liquefaction method*” (IRISAWA, 2018) e “*exploiting structure for natural gas hydrate reservoir and exploiting method for natural gas hydrate by injecting hydraulic calcium oxide via gas fracturing*” (YANG, 2020), respectivamente, abordam essas temáticas evidenciando maneiras de liquefazer o gás natural visando o armazenamento, assim como, formas de exploração de reservatórios de gás natural.

Faz-se necessário salientar que a categoria “Transporte”, mesmo que em menor quantidade, continua tendo um considerável número de patentes. Esse fato se dá pela relevância dessa etapa na cadeia produtiva, seja em curto, médio ou longo prazo. A patente, “*offshore facility, floating crude oil production facility and method for*

generating liquefied natural gas” (KIM, 2020), é um exemplo de documento que aborda esse assunto.

A taxonomia “Otimização”, por sua vez, também apresentou números significativos, ou seja, cerca de 15% do total das patentes solicitadas abordam essa temática em alguma etapa do processo, como por exemplo, com a reutilização da energia residual da planta de produção de gás natural apresentada no trabalho de NOURELDIN (2019): *“natural gas liquid fractionation plant waste heat conversion to simultaneous power, cooling and potable water using integrated mono-refrigerant triple cycle and modified multi-effect-distillation system”*.

Por fim, é importante mencionar que, tanto em patentes concedidas quanto em patentes depositadas a Meso “Meio Ambiente” não ganhou destaque, diferente do que ocorreu em artigos, onde a mesma ficou em primeiro lugar. Como já mencionado anteriormente, esse dado pode evidenciar um desinteresse das grandes empresas nessa temática, a médio e curto prazo, em detrimento das demais taxonomias Mesos.

6.3.4 ANÁLISE MICRO

Para análise Micro, foi utilizada as mesmas taxonomias descritas no tópico 6.1.4, os resultados obtidos podem ser observados na figura 46.

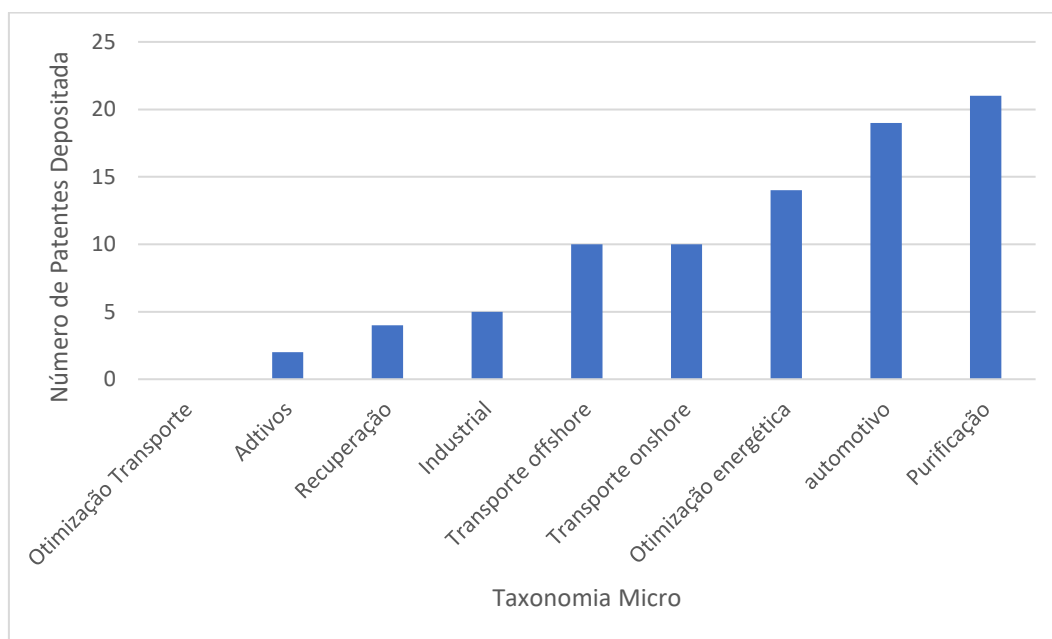


Figura 46 - Taxonomias Micro por número de patentes solicitadas.

Imagem obtida pelo autor.

Similar às conclusões obtidas anteriormente, ao analisar o gráfico da figura 36, pode-se concluir analisando a figura 46, que a premissa feita em relação ao “Beneficiamento” atrelado com o objetivo dos principais *players* em um produto de melhor qualidade se mostra consistente. Ou seja, há um expressivo número de documentos em busca de purificação sendo essa a taxonomia Micro com mais documentos. Um exemplo de estudo que envolve esse assunto é a patente “*method for purifying a natural gas stream*” de TERRIEN et al (2019).

No que se refere a “Aplicações”, pode-se concluir que diferente do observado para patentes concedidas, onde havia a predominância das “Aplicações industriais” em relação as “Aplicações motores” justificado pela alta incidência do uso do GN na indústria como fonte de energia ou como matéria-prima. Dessa vez, pode-se perceber a predominância das “Aplicações motores”, esse fato pode ser justificado pelo crescente interesse no uso do gás natural como substituto do diesel, como visto anteriormente, previsões evidenciam que nos próximos 10-20 anos o gás natural substituirá 25% do diesel em caminhões e veículos pesados (BARROSO et al, 2020). Diversos documentos abordaram o uso do gás natural em motores, como por exemplo, “*apparatus and method of preparing synthetic fuel using natural gas*” (MOON, 2019)

No que diz respeito às taxonomias Micros destinadas a “Transporte”, não é possível prever um comportamento, uma vez que elas se mostram equilibradas, ambas com 10%. O documento “*comprehensive system for the storage and transportation of natural gas in a light hydrocarbon liquid medium*” publicado em 2019 pela SEAONE HOLDINGS, LLC é um exemplo de patente que se enquadra na categoria “Transporte onshore”. Já o documento “*Systems and Methods for Transporting Natural Gas*” (Ahmed, 2020) aborda o cenário “Transporte offshore”.

Por fim, importante destacar o elevado número de documentos abordando a temática “Otimização energética” e a ausência de documentos na outra taxonomia

Micro destinada a “Otimização transporte”. Esse resultado pode ser explicado pela busca dos grandes *players* em alternativas de alcançar maneiras econômicas de produzir e recuperar energia, justificando assim o elevado número de patentes abordando o assunto: recuperação residual de energia em plantas de gás natural, como por exemplo o trabalho de Mahmoud et al (2017): “*natural gas liquid fractionation plant waste heat conversion to power using organic rankine cycle*”.

7. CONCLUSÕES

Os avanços de pesquisa e inovação que englobam soluções tecnológicas de gás natural são abundantes e possuem tendência de crescimento ao analisar a quantidade de publicações acadêmicas e solicitação de patentes ano a ano. Esse resultado confirma projeções feitas em trabalhos anteriores, onde evidenciam que a demanda total de gás natural tem tendência de aumento ao ano no decênio (EPE, 2020). Ao analisar os documentos pode-se perceber também que, os principais *players* são empresas de grande porte com tecnologias já estabelecidas no mercado, mas que também dividem espaço com *players* menores, instituições de ensino e pesquisa e inclusive pessoas físicas ao se tratar da busca por inovações.

Mediante a análise Macro, em ambos os estágios temporais, pode-se concluir que grande parte da pesquisa e inovação é impulsionada por *players* estadunidenses e chineses, os quais almejam, principalmente, aplicar gás natural como alternativa energética mais limpa que derivados de carvão e petróleo, bem como reduzir custos de distribuição e armazenamento de GN na forma liquefeita. No entanto, pode-se perceber que o Brasil vem somando esforços e já ocupa a 9ª posição no que diz respeito a países com mais publicações de artigos, isso testifica o interesse do país em se desenvolver nesse setor. Somados a isso, acredita-se que devido ao novo mercado de gás natural no Brasil, proveniente da assinatura do termo de cessação e conduta pelo CADE e a Petrobrás, esse número pode vir a aumentar, inclusive com relação a patentes. Isto é, a abertura desse segmento do mercado local, pode ser um ponto crucial para um avanço tecnológico do setor.

Através da prospecção tecnológica foi possível perceber que mesmo que o mercado atual tenha à sua disposição tecnologias bem consolidadas a respeito de “Exploração e produção (E&P)”, “Transporte (*onshore* e *offshore*)” e “Armazenamento”, esses segmentos ainda são relevantes fontes de inovação para os próximos anos, possuindo ambos números significativos nas suas respectivas taxonomias Mesos de patentes concedidas e depositadas. Esse fato pode ser explicado pela complexidade dessas etapas e pelo interesse das grandes empresas em encontrar maneiras menos custosas e mais limpas de explorar, produzir, transportar e armazenar o gás natural. Vale ressaltar que, a taxonomia Meso “Transporte” se destaca em detrimento das taxonomias Meso “E&P” e “Armazenamento” em um panorama geral, tendo um alto índice também para análise de artigos. Isto pode ser justificado devido ao alto custo dessa etapa, a qual equivale a 2/3 do custo final da cadeia de produção e as limitações técnicas do processo, como por exemplo as chances de vazamentos, dessa forma, tal categoria exige um estudo intensivo a curto, médio e longo prazo (SILVESTRE, 2012).

Foi possível observar também o interesse crescente por soluções ambientais, a longo prazo, reforçando mais uma vez a importância dessa temática. A taxonomia Meso “Meio ambiente” ficou em primeiro lugar na análise de artigos, com aproximadamente 40% dos documentos retratando questões ambientais. Esse dado é extremamente importante e testifica o protagonismo do gás natural na transição energética, assim como, evidencia a preocupação das grandes universidades e centros de pesquisas com problemas ambientais, tais como, vazamentos e poluição. Já na análise a curto e médio prazo, essa temática não se destacou, indicando assim, uma menor preocupação das grandes empresas com essa problemática.

Ainda foi possível averiguar a relevância da taxonomia Meso “Aplicações” e de suas taxonomias Micros (“Aplicações industrial” e “Aplicações motores”) em ambos os estágios temporais, evidenciando assim a tendência do mercado em não restringir o uso do gás natural. Esse dado evidencia uma nova forma de crescimento do mercado, focando agora em novas aplicações para o gás natural. Tal resultado também testifica a afirmação feita outrora, que o uso do gás natural possui tendência de expansão nos próximos 20 anos (BARROSO et al, 2020). A taxonomia Meso “Otimização”, por sua vez, apresentou incidências diferentes em cada estágio temporal. Apresentando uma maior relevância para análise de artigos, onde é evidente o interesse por busca de

novas maneiras e métodos de otimização de diversos segmentos, como por exemplo, o energético.

No que diz respeito a taxonomia Meso “Beneficiamento”, essa categoria não obteve um alto índice na análise de artigos, ficando na penúltima posição com apenas 6 documentos abordando essa temática. No entanto, para análise de patentes depositadas e concedidas, foi possível observar um grande interesse no setor, tendo essa taxonomia destaque em relação as demais. Esse acontecimento pode ser justificado devido ao interesse dos grandes players em soluções imediatas para obtenção de um produto de melhor qualidade, dando, portanto, notoriedade para taxonomia Meso “Beneficiamento”.

Por fim, a taxonomia Meso “Análise físico-química” apresentou baixa incidência (cerca de 2%), se comparada as demais, nos estágios temporais de médio e curto prazo. Possuindo, no entanto, 15% dos documentos abordando esse assunto, a longo prazo. Acredita-se que essa divergência ocorreu, pois o estudo a longo prazo busca por entender melhor o material, suas propriedades, e assim encontrar maneiras futuras de aprimorar as demais etapas da cadeia de produção, dando vez, portanto a essa categoria.

Dessa forma, com base no que foi apresentado e discutido é factível concluir que a metodologia de prospecção tecnológica aplicada neste trabalho se mostrou eficiente em fornecer ferramentas para analisar a movimentação tecnológica atual e futura do gás natural. Cabe ressaltar que foi possível obter resultados e investigações profundas e relevantes, mesmo tendo realizado este trabalho com uma quantidade restrita de documentos, isto é, 100 documentos em cada categoria (artigos, patentes concedidas e patentes depositadas). Entretanto, para se obter uma compreensão ainda mais detalhada acerca de tendências futuras de inovação no setor, é interessante analisar mais documentos, podendo até observar o surgimento de novas taxonomias, além disso, o uso atrelado com outras técnicas, como por exemplo *roadmap* tecnológico, é pertinente e proporcionará um maior embasamento sobre a temática.

8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões de trabalhos futuros, destaca-se a possibilidade da criação de um *roadmap* tecnológico. Essa técnica fornece um método gráfico, capaz de correlacionar a relação entre as necessidades futuras do mercado, a tecnologia atual da empresa, a tendência da tecnologia no mundo, programas de pesquisa e desenvolvimento (BORSCHIVER, 2016).

Para a elaboração desse *roadmap* será necessário, pegar os dados obtidos durante o trabalho e organiza-los em diferentes escalas temporais, como mostra o quadro 2. Sendo em seguida, os *players* alocados nas linhas horizontais, e as setas verticais que saem dos mesmos, direcionada a taxonomia correspondente (BORSCHIVER, 2016). Para elaboração de trabalho deve ser utilizado um software, como por exemplo, o Microsoft Excel 2016.

Estágio Atual: indica o momento atual dos *players*, principalmente empresas e institutos de pesquisa.

Curto Prazo: indica os *players* em um período de 0 a 5 anos, sendo os dados obtidos provindos das patentes concedidas.

Médio Prazo: indica os *players* em um período de 5 a 10 anos, sendo os dados obtidos provindos das patentes solicitadas.

Longo Prazo: são mostrados os *players* em um período maior do que 10 anos, sendo os dados obtidos provindos de artigos científicos, desse modo existem um grande número de universidades e pesquisadores.

Quadro 2 - Escalas temporais

Por fim, vale destaca que, outras técnicas como Cenários, Método Delphi ou Matriz SWOT também poderiam ser empregadas, as quais seriam capazes de fornecer de forma análoga um bom embaçamento sobre as necessidades futuras do mercado e suas tendências tecnologias no mundo (BORSCHIVER, 2016).

9. REFERÊNCIAS

AGUIAR, Eduardo Falabella Sousa. Gás Natural. Rio de Janeiro: Ufrj, 2020. 66 slides, color.

ALÉM DA SUPERFÍCIE. SAIBA COMO O GÁS NATURAL É PRODUZIDO E OS TIPOS DE RESERVAS. 2019. Disponível em: <https://www.alemdasuperficie.org/setor/saiba-como-o-gas-natural-e-produzido/>. Acesso em: 15 nov. 2020.

AMARO, Keize Katiane dos Santos; RIBEIRO, Maria do Carmo Oliveira; GUARIEIRO, Lílian Lefol Nani. Estudo de caso utilizando mapeamento de prospecção tecnológica como principal ferramenta de busca científica. Perspectivas em Ciência da Informação, [S.L.], v. 17, n. 4, p. 195-209, dez. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-99362012000400012>.

AMEEN, A. W., BUDD, P. M., & GORGOJO, P. (2020). Superglassy Polymers to Treat Natural Gas by Hybrid Membrane/Amine Processes: Can Fillers Help? Membranes, 10(12), 413.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEL ANP (Brasil). PANORAMA DA INDÚSTRIA DE GÁS NATURAL NO BRASIL: ASPECTOS REGULATÓRIOS E DESAFIOS. Rio de Janeiro, 2002. 25 p.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEL. 118: Boletim da Produção de Petróleo e Gás Natural. Rio de Janeiro, 2020. 41 p.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEL. Cade prorroga prazos para venda de ativos nos mercados de refino e gás natural pela Petrobrás. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/cade/pt-br/assuntos/noticias/cade-prorroga-prazos-para-venda-de-ativos-nos-mercados-de-refino-e-gas-natural-pela-petrobras>. Acesso em: 19 ago. 202

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEL. SESSÃO 1: Panorama Internacional. Rio de Janeiro, 2019. 7 p.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEL. SESSÃO 1: Panorama Internacional. Rio de Janeiro, 2021. 7 p.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Boletim da Produção de Petróleo e Gás Natural. Rio de Janeiro, 2018. 32 p.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Processamento de Gás Natural. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/processamento-de-gas-natural>. Acesso em: 19 ago. 2021.

BARATTA, M., CHIRICHES, S., Goel, P., & MISUL, D. (2020). *CFD modelling of natural gas combustion in IC engines under different EGR dilution and H2-doping conditions. Transportation Engineering, 2, 100018.*

BARROSO, Luiz Augusto; KELMAN, Rafael; GASPAR, Luana de Souza. PANORAMA E PERSPECTIVAS PARA O GÁS NATURAL NO BRASIL. Rio de Janeiro: Selo Perspectivas, 2020. 59 p.

BBC NEWS MUNDO (Brasil). Como é o mega-gasoduto resultado do 'acordo do século' entre a Rússia e a China. 2019. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-50658563>. Acesso em: 24 ago. 2021.

BORSCHIVER, S.; SILVA, A.L.R., 2016. *Technology Roadmap – Planejamento Estratégico para alinhar Mercado-Produto-Tecnologia*. ISBN: 9788571933866 1.a Edição – 2016.

BORSCHIVER, Suzana; BOMTEMPO, Jose Vitor; CARDOSO, Fernanda. Elaboração de roadmap tecnológico para a produção de biogás a partir de palha. Rio de Janeiro: Gramma, 2017. 497 p.

BRASIL. CADERNOS FGV ENERGIAS. GÁS NATURAL. 2. ed. Rio de Janeiro, 2014. 80 p.

BRASIL. Elisa Salomão Lage. BNDES Setorial. Gás não convencional: experiência americana e perspectivas para o mercado brasileiro. Rio de Janeiro, 2019. 56 p. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1508/2/A%20mar37_02_G%C3%A1s%20n%C3%A3o%20convencional%20experi%C3%Aancia%20americana.pdf. Acesso em: 24 ago. 2021.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. Boletim Mensal de Acompanhamento da Indústria de gás natural. Rio de Janeiro, 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. Plano Nacional de Energia 2030. Rio de Janeiro, 2007. 166 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. PLANO NACIONAL DE ENERGIA 2050. Rio de Janeiro. 2020. 226 p. Disponível em: <https://static.poder360.com.br/2020/12/PNE2050.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2021.

CHEN Kui, SONG Ruiyou, HAN Guangming. Key technologies for the integration of deepwater natural gas exploration and development and their application in the Qiongdongnan Basin[J]. NATURAL GAS INDUSTRY, 2020, 40(12): 59-70.

CONSELHO ADMINISTRATIVO DE DEFESA ECONÔMICA - CADE (Brasil). TERMO DE COMPROMISSO DE CESSAÇÃO DE PRÁTICA. Rio de Janeiro: 2019. Disponível em: https://sei.cade.gov.br/sei/modulos/pesquisa/md_pesq_documento_consulta_externa.php?DZ2uWeaYicbuRZEFhBt-n3BfPLlu9u7akQA8mpB9yM2Ur8iByH-Nu4yvA1cv_9inRMOg4J1hcDMLohDGroONKELtnpkMU8Pfaq47IACp_3Fd9iD44arSE934kMfAu8z. Acesso em: 19 ago. 2021.

- DUAN, X., DENG, B., LIU, Y., ZOU, S., LIU, J., & FENG, R. (2020). An experimental study the impact of the hydrogen enrichment on cycle-to-cycle variations of the large bore and lean burn natural gas spark-ignition engine. *Fuel*, 282, 118868.
- DUTRA, Luís Eduardo Duque. O GÁS NATURAL NA GEOPOLÍTICA ENERGÉTICA DO SÉCULO XXI. Rio de Janeiro: Escola de Química, 2021. 11 slides, color.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. Balanço Energético Nacional ano base 2012. Rio de Janeiro/RJ. 2013.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. Balanço Energético Nacional ano base 2018. Rio de Janeiro/RJ. 2019.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Demanda de Energia 2050. Rio de Janeiro, 2016. 226 p. (ESTUDOS DA DEMANDA DE ENERGIA). Disponível em: <https://static.poder360.com.br/2020/12/PNE2050.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2021.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Monetização de Gás Natural *Offshore* no Brasil. Rio de Janeiro/RJ. 2020.
- EMPRESA ENERGÉTICA DE ENERGIA - EPE. NOTA TÉCNICA EPE/DPG/SPG/09/2020: DEMANDA DE GÁS NATURAL NOS MERCADOS NACIONAL E INTERNACION. Rio de Janeiro, 2020. 28 p.
- (EXAME) EDUARDO TAVARES (Brasil). As 10 maiores reservas de gás natural do mundo. 2016. Disponível em: <https://exame.com/economia/as-10-maiores-reservas-de-gas-natural-do-mundo/>. Acesso em: 13 out. 2021
- GRAVINA, Fernanda Rocha. O PROJETO MANATI E O IMPACTO NA MATRIZ ENERGÉTICA BAIANA: UMA ANÁLISE DA EXPANSÃO DA OFERTA DE GÁS NATURAL A PARTIR DE 2007. 2008. 76 f. TCC (Doutorado) - Curso de Graduação em Ciências Econômicas, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008.
- HU, Y., MA, X., LI, W., WU, W., & TU, D. (2020). Forecasting manufacturing industrial natural gas consumption of China using a novel time-delayed fractional grey model with multiple fractional order. *Computational and Applied Mathematics*, 39(4)
- INEEP - INSTITUTO DE ESTUDOS ESTRATÉGICOS DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (Brasil). China usa o gás para limpar a matriz energética e fazer política de boa vizinhança. 2020. Disponível em: <https://ineep.org.br/china-usa-o-gas-para-limpar-a-matriz-energetica-e-fazerpolitica-de-boa-vizinhanca/>. Acesso em: 24 ago. 2021.
- KHRAISHEH, M., ALMOMANI, F. & WALKER, G. Solid Sorbents as a Retrofit Technology for CO₂ Removal from Natural Gas Under High Pressure and Temperature Conditions. *Sci Rep* 10, 269 (2020).
- MCFARLAN, A. (2020). Techno-economic assessment of pathways for liquefied natural gas (LNG) to replace diesel in Canadian remote northern communities. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 42, 100821.

MIAGKOV, N. A., & KHARITONOVA, N. A. (2020). Development of liquefied natural gas transport and creation of energy infrastructure for its functioning in Russia. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 976, 012035.

PETROBRAS (Brasil). Oferta de Gás Natural. 2020. Disponível em: <https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/oferta-de-gas-natural/>. Acesso em: 19 ago. 2021.

PETROBRAS. Aprovamos revisão de nosso posicionamento estratégico. 2019. Disponível em: <https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/aprovamos-revisao-de-nosso-posicionamento-estrategico.htm>. Acesso em: 11 nov. 2020.

PETROBRAS. Nossas primeiras descobertas em campos marítimos foram realizadas na década de 70. 2014. Disponível em: <https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/nossas-primeiras-descobertas-em-campos-maritimos-foram-realizadas-na-decada-de-70.htm>. Acesso em: 19 ago. 2021.

RIO DE JANEIRO. INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO E GÁS. . Maiores reservas provadas de petróleo e gás natural em 2018. 2019. Disponível em: <https://www.ibp.org.br/observatorio-do-setor/snapshots/maiores-reservas-provadas-de-petroleo-e-gas-natural-em-2018/>. Acesso em: 13 out. 2021.

ROJAS, Henrique Drumond Carvalho; LEITE, Barbara Eiroa. Refino de petróleo no Brasil: desafios históricos e reposicionamento do setor. Revista Brasileira de Direito do Petróleo, Gás Natural e Energia, Rio de Janeiro, v. 1, n. 5, p. 20-32, jan. 2018.

ROJAS, Henrique Drumond Carvalho; LEITE, Barbara Eiroa. REFINO DE PETRÓLEO NO BRASIL: DESAFIOS HISTÓRICOS E REPOSICIONAMENTO DO SETOR. Revista Brasileira de Direito do Petróleo, Gás e Energia. Rio de Janeiro, p. 20-32. 05 jan. 2019.

ROTARU, S et al. Experimental investigations of an automotive diesel engine fuelled with natural gas in dual fuel mode. Materials Science And Engineering. Romania, p. 997-1008. 1 dez. 2020.

SALAS-ZAPATA, W.; RÍOS-OSORIO, L.; CASTILLO, J.A.D. La ciencia emergente de la sustentabilidad: de la práctica científica hacia la constitución de una ciencia. Interciencia, v.2, n.9, 2011.

SILVESTRE, Joao Henrique Ise. A DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL CANALIZADO. 2012. 85 f. Monografia (Doutorado) - Curso de Departamento de Economia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012. Cap. 85.

SUN, Liwen et al. Analysis of Indoor Natural Gas Leakage Explosion. Nternational Conference On Applied Chemistry And Industrial Catalysis. Jinan, p. 213-220. dez. 2020.

TEIXEIRA, Joao Pedro Braga. Gás natural: O energético mais competitivo. Rio de Janeiro: Pod Editora, 2015. 102 p.

TEIXEIRA, L. P. Prospeção tecnológica: importância, métodos e experiências da Embrapa Cerrados. Distrito Federal: Embrapa Cerrados, 2013; 34 p.

VIEIRA, P. L., GARCIA, C. B., GUIMARÃES H., B., TORRES, E. A., PEREIRA, O. L. S. Gás natural: benefícios ambientais no Estado da Bahia. Salvador: Solisluna Design e Editora, 132 p., 2005.

WANG, Y., LITHOXOOS, G. P., & OTHMAN, R. M. (2020). Heat Removal for Adsorbed Natural Gas Storage: Lab to Industrial Scale. *Energy & Fuels*.

WANG, Y., QIU, J., TAO, Y., ZHANG, X., & WANG, G. (2020). Low-carbon oriented optimal energy dispatch in coupled natural gas and electricity systems. *Applied Energy*, 280, 115948.

ZHANG, H., LIU, L., DAI, J., MA, L., LIANG, J., ZHANG, H., & LIANG, S. (2020). Spatio-temporal Fusion Model of Natural Gas Pipeline Condition Monitoring Based on Convolutional Neural Network and Long Short-term Memory Neural Network. 2020 International Conference on Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS).

ZHANG, Y., YU, Z., ZHANG, Y., & ZHANG, H. (2020). Regeneration of unconventional natural gas by methanogens co-existing with sulfate-reducing prokaryotes in deep shale wells in China. *Scientific Reports*, 10(1).